

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRENDO BENATO RUTYNA

**ASSOREAMENTO NAS BAÍAS DE ANTONINA E DE PARANAGUÁ – PR:
ANÁLISE INTEGRADA DAS ÁREAS FONTES DE SEDIMENTAÇÃO E OBRAS DE
DRAGAGEM**

PONTAL DO PARANÁ

2019

BRENDY BENATO RUTYNA

**ASSOREAMENTO NAS BAÍAS DE ANTONINA E DE PARANAGUÁ – PR:
ANÁLISE INTEGRADA DAS ÁREAS FONTES DE SEDIMENTAÇÃO E OBRAS DE
DRAGAGEM**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia com habilitação em pesquisa oceanográfica, ao curso de graduação em Oceanografia, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná.

Prof. Dr. Carlos Roberto Soares
Prof. Dr. Eduardo Vedor de Paula

PONTAL DO PARANÁ

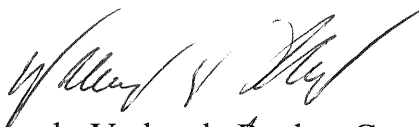
2019

TERMO DE APROVAÇÃO

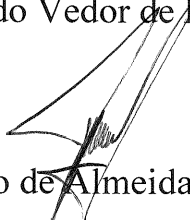
Brendo Benato Rutyna

“ASSOREAMENTO NAS BAÍAS DE ANTONINA E DE PARANAGUÁ-PR: ANÁLISE INTEGRADA DAS ÁREAS FONTES DE SEDIMENTAÇÃO E OBRAS DE DRAGAGENS”

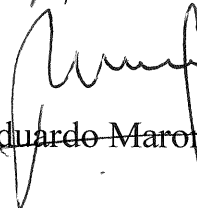
Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela
Comissão formada pelos membros:



Prof. Dr. Eduardo Vedor de Paula - Geografia/UFPR



Prof. Dr. Maurício de Almeida Noernberg - CEM/UFPR



Prof. Dr. Eduardo Marone - CEM/UFPR



Prof. Dr. Carlos Roberto Soares
Presidente

Pontal do Paraná, 04 de dezembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Início meus agradecimentos fazendo referência à Maris (Empresa Júnior de Oceanografia) que foi minha janela para o mundo, onde a cada minuto, um novo espetáculo. Mostrou-me que um barco no ancoradouro está seguro, mas não é para isso que os barcos são feitos. É preciso sair da zona de conforto, navegar para encontrar o farol e ser eficiente até em baixo d'água! A experiência adquirida durante os quatro anos de gestão permitiu a construção deste trabalho.

Ao Carlos Roberto Soares, pela amizade, seu espírito jovial e excelente gosto musical. E por me fazer deixar de ser um desorientado.

Ao Edu, (Eduardo Vedor de Paula), por me tirar da zona de conforto e me levar para outros mares. Obrigado pela imensa ajuda no desenvolvimento deste projeto, pela confiança e por me inserir de coração aberto à sua equipe. E claro, pela amizade desenvolvida nesta jornada, com histórias de bravura e superação dos limites, onde a natureza implacável nos levou aos extremos. Mas sobrevivemos para contar!

Ao LABS (Laboratório de Biogeografia e Solos) e toda a sua equipe que me recebeu de braços abertos.

À Aika Silveira Miura, pela ajuda nos momentos difíceis e pelo auxílio metodológico, no trabalho, na escrita e na vida! Por ti guardo imenso carinho e respeito.

Às amigas que surgiram ao longo do percurso, deixo minha gratidão (Isabelle da Silveira, Ligia de Freitas Tebecherani, Mateus Mengatto, Caio Melo, Marina Betim, Julia Miola e Diana Italiani).

À toda comunidade do CEM (UFPR) e de Pontal do Sul, também por me receberem e integrarem um quadro do filme da minha vida. Saúdo aos docentes, técnicos administrativos, seguranças, moças da limpeza e a todos os funcionários que zelam pelo nosso patrimônio com muita dedicação.

Aos meus Joe's Carlos Eduardo Klapouch, Caio Minei, Lucas Ferreira Bertoncelli, Patrick Derviche, Renam Perez Macedo e Vitor Vicenzi. Valeu piazada!

Aos meus Irmãos Bruno e Bruna, e Cunhada Inajara. Navegamos no mesmo barco!

À minha mãezinha Célia, que faz tudo pelos filhos. Te amo muito! Obrigado pela preocupação, roupa limpa, comida na mesa e cama quentinha.

E por último, meu agradecimento especial ao meu Pai Nego (Willian), sem você nada seria possível. Obrigado por todo apoio e pela liberdade que sempre me deu. Te amo!

Visão Sistêmica
Formada pela parte e pelo todo
Pelo rosto na multidão
E pela multidão, sem rosto e coração.

Dedico este trabalho a **Mata Atlântica** (*in memoriam*) cujos remanescentes refletem a própria fragilidade humana.

RESUMO

A segurança à navegação é um fator primordial para garantir aos navios acesso aos portos do Paraná. Obras de dragagens são necessárias para a manutenção dos canais de navegação diante do processo natural de assoreamento em regiões estuarinas, que são ambientes naturais de deposição. Entretanto, o volume em metros cúbicos dragados na região portuária do Complexo Estuarino de Paranaguá aumentou ao longo do tempo. Com o intuito de demonstrar quais setores oferecem maiores riscos à navegação portuária, o presente estudo se restringe aos setores que interessam à navegação e às instalações portuárias, isto é, o eixo E-W do CEP que abrange os trechos do canal de acesso aos portos paranaenses e as baías de Paranaguá e Antonina. O volume de assoreamento anual não é regular. A contribuição sedimentar é diária, variando em função da dinâmica local e de eventos episódicos, naturais ou antrópicos. A grande problemática da atividade portuária é um somatório do que se refere à taxa de sedimentação elevada dentro do estuário somada à área de extremo risco de navegação na entrada do canal de acesso. O total de sedimentos realocados entre 1999 e 2016 nos segmentos do canal é da ordem de 2.691.721,89 m³. A manutenção destes setores se torna extremamente onerosa, uma vez que 737.289 m³.a⁻¹ (ou 1.953.815.850 t.a⁻¹) de material sedimentar são retirados para garantir acessibilidade aos navios. Os processos de licenciamento ambiental de jurisdição estadual e federal, protocolados respectivamente pelo IAP e pelo IBAMA, mostram que, apenas entre 2011 e 2017, foram gastos um valor total de R\$ 703.540.774,18 entre obras de manutenção e aprofundamento. Deste montante, R\$ 390.000.000,00 foram investidos pelo Governo Federal para a execução da dragagem de aprofundamento I, que, em intervalo de execução de aproximadamente um ano, retirou uma quantidade de 12.914.780 m³ (ou 34.224.167.053 t), quase cinco vezes maior que o total dragado em todos os setores entre 1999 e 2016. Desta forma, o processo de assoreamento não deve ser tratado apenas por obras de dragagens, mas devem-se analisar as áreas fontes desta sedimentação a fim de garantir a prosperidade das atividades portuárias nos próximos anos. Dentre todas as medidas mitigadoras que podem ser aplicadas para tentar amenizar o problema de assoreamento no CEP, a forma mais eficiente seria diminuir a disponibilidade de sedimentos injetados no estuário através

da recuperação das margens das bacias hidrográficas adjacentes com a introdução de cobertura vegetal.

Palavras-chave: Unidades Hidrográficas. Assoreamento. Dragagem. Distribuição Sedimentar.

ABSTRACT

Safety in navigation is a primordial factor to the ports of Paraná. Dredging works are necessary for the maintenance of the navigation channels before the natural process of silting in estuarine regions, which are natural environments of deposition. However, the volume in cubic meters dredged in the port region of the Paranaguá Estuary Complex has increased over time. In order to demonstrate which sectors offer the highest risk to the port navigation, this study is restricted to sectors that are of interest to navigation and to port installation, in other words, the E-W axis of the CEP that includes the sections of the access channel to the ports of Paraná and the bays of Paranaguá and Antonina. The annual silting volume is not regular. The sedimentary contribution is daily and varies according to local dynamics and episodic, natural or anthropic events. The biggest problem of port activity is a sum of what refers to the high level of sedimentation rate inside the estuary added to the area of extreme risk of navigation at the entrance of the access channel. The total of relocated sediments between 1999 and 2016 in the canal segments is of the order of 2.691.721,89 m³. The maintenance of these sectors becomes extremely costly, once that 737.289 m³.a⁻¹ (or 1,953,815,850 t.a⁻¹) of sedimentary material is removed to guarantee accessibility to the ships. The environmental licensing processes of state and federal jurisdiction, filed by IAP and IBAMA, show that, between 2011 and 2017, a total value of R\$ 703.540.774,18 was spent between maintenance and deepening works. Of this amount, R\$ 390.000.000,00 were invested by the Federal Government for the execution of deepening dredging I, which, in an execution interval of approximately one year, withdrew an amount of 12.914.780 m³ (or 34.224.167.023 t) , almost five times larger than the total dredged in all sectors between 1999 and 2016. Thus, the sedimentation process should not be treated only by dredging works, but the sources of this sedimentation should be analyzed in order to guarantee the prosperity of port activities in the coming years. Among all the mitigating measures

that can be applied to try to relieve the problem of silting in the CEP, the most efficient way would be to reduce the availability of sediment injected into the estuary by recovering the adjacent watershed banks with the introduction of vegetation covering.

Keywords: Hydrographic Units. Sedimentation. Dredging. Sedimentary Distribution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO ENGLOBANDO O PRINCIPAL CANAL DE ACESO AOS PORTOS DE PARANAGUÁ E ANTONINA (EIXO E-W), NO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ, PR.....	27
FIGURA 2 OBRA DE APROFUNDAMENTO EM CURSO, ACE-20 E ANTIGAS ÁREAS DE DESPEJO	30
FIGURA 3 LOCALIZAÇÃO DOS SETORES DO CANAL DA GALHETA	31
FIGURA 4 UNIDADES HIDROGRÁFICAS QUE DRENAM PARA A BAÍA DE ANTONINA.....	36
FIGURA 5 ROTEIRO METODOLÓGICO	39
FIGURA 6 MÉDIA ANUAL DE ASSOREAMENTO NOS SETORES DO CANAL DA GALHETA ENTRE 1963 E 1999, QUANDO AINDA SE UTILIZAVAM OS ANTIGOS CANAIS NORTE E SUESTE (EM AZUL)	48
FIGURA 7 MÉDIA ANUAL DE ASSOREAMENTO ENTRE 1999 E 2016, ONDE SE EVIDENCIA OS SETORES ALFA E DELTAS.....	49
FIGURA 8 TOTAL DE SEDIMENTOS RETIRADOS DURANTE A OBRA DE APROFUNDAMENTO I.....	50
FIGURA 9 SUSCETIBILIDADE À PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NAS U.H.....	51

LISTA DE TABELAS

TABELA1 TRECHOS DOS CANAIS DE ACESSO E BACIAS DE EVOLUÇÃO DOS PORTOS DE PARANAGUÁ E ANTONINA	32
TABELA 2 UNIDADES HIDROGRÁFICAS DA ÁREA DE DRENAGEM DA BAÍA DE ANTONINA.....	42

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 RELAÇÃO ENTRE OS VALORES ESTIMADOS DE SEDIMENTOS PRODUZIDOS PELAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS EM $\text{m}^3.\text{a}^{-1}$ E EM $\text{t}.\text{a}^{-1}$	44
QUADRO 2 QUANTIDADE EM $\text{m}^3.\text{a}^{-1}$ e $\text{t}.\text{a}^{-1}$ DE SEDIMENTOS DRAGADOS NOS TRECHOS DO CANAL DA GALHETA ENTRE 1999 E 2016.....	44
QUADRO 3 QUANTIDADE EM $\text{m}^3.\text{a}^{-1}$ e $\text{t}.\text{a}^{-1}$ DE SEDIMENTOS DRAGADOS NOS TRECHOS CORRESPONDENTES A OBRA DE APROFUNDAMENTO I NO PERÍODO DE JULHO DE 2017 A AGOSTO DE 2018.....	45

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 QUANTIDADE ANUAL DE SEDIMENTOS ($\times 10^3 \text{ m}^3$) REALOCADOS ENTRE 1963 E 1999 NOS ANTIGOS CANAIS DE ACESSO NORTE E SUESTE; NO TRECHO DE ACESSO AO PORTO DE PARANGUÁ; A QUANTIDADE DESTINADA PARA ATERRO RETROPORTUÁRIO (ATERRO HIDRÁULICO) E POSTERIORES OBRAS EFETUADAS A PARTIR DA ABERTURA DO CANAL DA GALHETA PARA ACESSO A BACIA DE EVOLUÇÃO E BERÇOS DE ATRACAÇÃO.....	46
GRÁFICO 2 QUANTIDADE ANUAL DE SEDIMENTOS REALOCADOS ENTRE 1999 E 2016 NOS TRECHOS ALFA; BRAVO I E II; CHARLIE I, II E III; E DELTA I E II...	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APO – Área de Porto Organizado

APPA – Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina

CEM – Centro de Estudos do Mar

CEP – Complexo Estuarino de Paranaguá

U.H – Unidade Hidrográfica

IAP – Instituto Ambiental do Paraná

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

LI – Licença de Instalação

LP – Licença Prévia

LO – Licença de Operação

m – Metro(s)

m² – Metro(s) quadrado(s)

m³ – Metro(s) cúbico(s)

MPS – Material Particulado em Suspensão

PEIM – Planejamento Estratégica da Infraestrutura Marítima

PCA – Plano de Controle Ambiental

PR – Paraná

R\$ – Reais

t – Toneladas

t^{1.a} – Toneladas por ano

TEU – Unidade Equivalente a 20 pés

TPPF – Terminais Portuários da Ponta do Félix

TR – Termo de Referência

UFPR – Universidade Federal do Paraná

ZMT – Zona de Máxima Turbidez

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
1.1.1	Objetivo Geral.....	20
1.1.2	Objetivos Específicos	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	PLANÍCIE DE MARÉS.....	20
2.2	DISTRIBUIÇÃO SEDIMENTAR ESTUARINA	22
2.3	ZONA DE MÁXIMA TURBIDEZ.....	22
2.4	DELTA DE MARÉS	23
3	ÁREA DE ESTUDO.....	25
3.1	LOCALIZAÇÃO.....	25
3.2	HISTÓRICO DE DRAGAGENS NO CEP	27
3.2.1	Área de Despejo do Material Dragado.....	27
3.3	TRECHOS	31
3.4	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA REGIÃO	33
3.5	UNIDADES HIDROGRÁFICAS	35
3.6	CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS DO ESTUÁRIO	37
3.6.1	Caracterização dos Sedimentos de Fundo	37
4	MATERIAIS E MÉTODOS	39
4.1	PEIM – PR 2017	39
4.1.1	Histórico das dragagens realizadas até 1999	40
4.1.2	Dragagens após 1999	40
4.1.3	Média Anual por Trechos.....	40
4.2	ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS	41
4.3	DISTRIBUIÇÃO SEDIMENTAR.....	42
4.4	QUADRO COMPARATIVO E ANÁLISES GRÁFICAS	42
5	RESULTADOS	43
5.1	QUADRO COMPARATIVO	43
5.2	ASSOREAMENTO ANUAL POR SETOR	45
5.2.1	Entre 1963 e 1999	45
5.2.2	Entre 1999 e 2016	46
5.3	MÉDIA ANUAL DE SEDIMENTOS DRAGADOS	47

5.3.1	Entre 1963 e 1999	47
5.3.2	Entre 1999 e 2016	48
5.3.3	Aprofundamento I	50
5.4	ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NAS U.H.....	51
6	DISCUSSÃO	52
6.1	SETORES CRÍTICOS À NAVEGAÇÃO	52
6.1.1	Setor Alfa.....	52
6.1.2	Setor Delta.....	53
6.2	DISPERSÃO SEDIMENTAR NA BAÍA DE ANTONINA E VALORES DE ASSOREAMENTO	56
6.3	PROGRAMA CAD: CONTAMINANTES, ASSOREAMENTO E DRAGAGEM NO ESTUÁRIO DE PARANAGUÁ	57
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

Para atender as exigências de um mercado internacional competitivo, os canais de acesso aos portos, berços de atracação e as bacias de evolução, necessitam ser cada vez mais profundos e largos. Essa necessidade deve garantir que as diversas embarcações, cada vez maiores em tamanho e calado, possam trafegar por vias aquáticas naturais ou artificiais, penetrar em baías protegidas e aproximarem-se dos portos e terminais portuários para o embarque e desembarque das cargas transportadas.

As regiões abrigadas dentro de estuários, onde não há influência direta da hidrodinâmica que ocorre em condições de mar aberto, possuem relevante importância em áreas costeiras. Além de seu papel ecológico, há um intenso uso antrópico associado, com a implantação de instalações portuárias, marinas, polos industriais, diversas modalidades de aquicultura, além de possuir um potencial recreativo e outras atividades associadas a estas regiões (LAMOUR *et al.*, 2004).

Estuários são comumente definidos como feições de transição entre o continente e o oceano. São originados pela criação de um espaço de deposição por processos de erosão, principalmente fluvial, no qual o rápido preenchimento no tempo geológico se dá pela interação entre os processos hidrodinâmicos, como a descarga dos rios, ondas e marés (CATTANI, 2012). O ambiente resultante, segundo diversos autores como Bokuniewicz (1995), Dyer (1995), Perillo (1995), Boyd *et al.*, (2006), Prandle (2009) e Perillo e Syvitski (2010), é consequência da combinação desses processos sobre todo o estuário ou em partes específicas, onde é possível evidenciar mudanças geomorfológicas associadas aos processos de transporte dos sedimentos. Outros aspectos podem ser utilizados para caracterizá-los, conforme as especificidades locais desses ambientes.

O conhecimento da natureza e da distribuição dos sedimentos de fundo nos estuários tem devida importância para o planejamento de canais de acesso aos portos, terminais portuários, marinas, dragagens e áreas de despejo, tendo em vista que a dinâmica sedimentar determina a segurança à navegação. A necessidade de dragagens em função do processo de assoreamento, para garantir calado aos navios, torna-se extremamente onerosa para o empreendimento e para o estado (PAULA *et al.*, 2006).

Segundo Goes Filho (2004) e Gomes de Oliveira (2010), a dragagem consiste no processo de remoção e/ou relocação de sedimentos de fundo de um curso d'água qualquer, utilizando um tipo especial de embarcação denominada draga, que atua na necessidade de aprofundamento e alargamento de canais, portos, lagos ou rios. Dragagens de aprofundamento e manutenção são necessárias para a implantação de canais de acesso aos portos, bacias de evolução e zonas de atracação, assim como para manter a profundidade do canal ao longo da vida útil do porto.

A dragagem de aprofundamento consiste na retirada do material sedimentar com a finalidade de aumentar a profundidade do canal, propiciando a movimentação de navios com maiores calados em determinada via navegável. Logo, a dragagem de manutenção é executada periodicamente em locais anteriormente dragados, visando restabelecer total ou parcialmente as condições originalmente estabelecidas, ou seja, mantendo as dimensões de projeto dos portos e dos canais de navegação. De forma geral, a dragagem de manutenção consiste na técnica posterior a dragagem de aprofundamento.

De acordo com o Planejamento Estratégico da Infraestrutura Marítima dos Portos do Paraná (PEIM – PR, 2017), a seleção dos equipamentos e métodos a serem utilizados para a execução das atividades de dragagem depende (I) das características físicas e quantidade de material a ser dragado; (II) profundidade da área; (III) distância do local de despejo; (IV) características físicas do ambiente que irá sofrer a dragagem e do local de descarte; (V) nível de contaminação do sedimento; (VI) métodos de despejo que serão utilizados; (VII) tipos de dragas disponíveis e (VIII) custos da operação.

A redução do calado máximo operacional de um porto, por falta de manutenção, afeta diretamente no tamanho dos navios que podem escalar este porto. Nesses casos, o navio deixa de carregar por falta de profundidade e se torna obrigado a sair com menos carga do que sua capacidade. Isso implica em desequilíbrio na composição de custos, na produtividade da operação e, conseqüentemente, na produtividade do porto, na medida em que é preciso mais navios para movimentar o mesmo volume de carga.

Por serem obras que afetam o ambiente, as dragagens são passíveis de licenciamento ambiental por órgãos ambientais, conforme explicitado na legislação brasileira. Associado ao licenciamento, são estabelecidos Planos de Controle

Ambientais (PCA's), considerando o planejamento das áreas de despejo em longo prazo, assim como as taxas de assoreamento e as necessidades de expansão portuária para atender as exigências de mercado. Paula *et al.* (2006) afirmam que o conhecimento das bacias hidrográficas que drenam para as áreas de navegação deve ser indispensável para o monitoramento do assoreamento. Os seus estados de conservação, bem como as fragilidades ao desenvolvimento dos processos erosivos devem ser considerados para que o assoreamento não seja tratado apenas por meio da realização de obras de dragagens. Quando não há preservação das áreas onde os sedimentos são originados, a tendência é de que com o passar do tempo, a quantidade de material a ser dragado seja cada vez maior, implicando em custos cada vez mais elevados.

Neste sentido, Paula (2010) buscou estimar a produção de sedimentos em cinco principais bacias hidrográficas que compõem a Serra do Mar no litoral do Paraná, com o objetivo de contribuir nas investigações da origem do assoreamento da baía de Antonina. Os estudos pretéritos referentes às obras de dragagens e aos processos de assoreamento no CEP não têm uma visão holística, que procurem integrar as áreas fontes de sedimentos com a questão do assoreamento na região do CEP.

A segurança à navegação é um fator primordial para garantir aos navios acesso aos portos do Paraná. Obras de dragagens são necessárias para a manutenção dos canais de navegação diante do processo natural de assoreamento em regiões estuarinas, que são ambientes naturais de deposição. Embora os estudos existentes que abrangem o conhecimento sobre a origem do processo de assoreamento possuam uma ampla cadeia de dados, que leva em consideração a drenagem das bacias hidrográficas que desaguam no CEP e todos os processos de deposição e sedimentação, ainda não há um estudo que relacione a produção de sedimentos em sua origem com os dados históricos de dragagens. Estes últimos aspectos serão o objeto de estudo do presente trabalho. Espera-se contribuir para que as obras de dragagens se tornem um processo mais aprimorado do que o conduzido atualmente, pois serão analisadas as origens, ou fonte dos sedimentos, provenientes das bacias hidrográficas adjacentes por processos naturais, ou incrementados pelo uso inadequado do solo por atividades antrópicas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho relacionará as áreas de maior propensão à erosão nas bacias hidrográficas com as áreas de maior deposição sedimentar dentro da baía de Paranaguá, comparando os valores históricos dragados nas últimas cinco décadas, a fim de demonstrar os processos de assoreamento e obter um panorama da situação atual das obras de dragagens e sua relação com as cotas históricas de sedimentos removidos. Estes fatores procurarão demonstrar quais setores oferecem maiores riscos à navegação e custos mais elevados para a manutenção e/ou aprofundamento entre cada intervalo de obra.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Estimar o volume de sedimentos advindos das bacias hidrográficas de contribuição do eixo E-W do CEP, a partir de dados secundários;
- b) Estimar a quantidade de sedimentos dragados em diferentes períodos das últimas cinco décadas nos respectivos trechos do canal de acesso aos portos de Paranaguá e Antonina;
- c) Estipular a relação entre as taxas de produção de sedimentos e assoreamento no canal.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PLANÍCIE DE MARÉS

As planícies de marés em estuários são habitats sedimentares intermarés criados pela deposição de sedimento em ambientes costeiros de baixa energia (DE BACKER *et al.*, 2010). Elas representam um rico e produtivo ecossistema, fornecendo um importante habitat que suporta grandes densidades de invertebrados bentônicos e diversas funções ecológicas chave, como oferecer proteção contra inundações e tempestades que causam erosão das margens de rios e estuários, além da manutenção da biodiversidade (MORBEG e RONNBACK, 2003).

São áreas mais rasas que o canal principal sendo normalmente inundadas durante o período em torno da preamar e permanecem emersas durante o período de baixa-mar. O perfil morfológico de uma planície de maré é controlado primeiramente pela variação de maré, clima de ondas, composição e fonte dos sedimentos, além da capacidade da vegetação de aprisionar sedimentos (WHITEHOUSE *et al.*, 2000).

As principais forçantes que esse tipo de sistema pode sofrer são as marés propriamente dita, circulação induzida pelo vento, ondas, circulação dirigida pela densidade e o processo de drenagem, sendo essa última específica para áreas intermarés onde elas são sujeitas e expostas às descargas de água doce. A ação de correntes pela subida e descida das marés é a principal condicionante da planície de maré, mas a ação de ondas pode influenciar. As forçantes são responsáveis pela advecção e dispersão do material particulado no corpo aquoso, mas também gera tensão de cisalhamento, o que é relevante para deposição e erosão desses sedimentos (LE HIR *et al.*, 2000; BIRD, 2008).

A planície de maré apresenta uma hidrodinâmica caracterizada, inicialmente, pelo período de subida da maré, em que a corrente avança sobre a planície até alcançar a vegetação do manguezal adjacente à planície superior, margeando o canal estuarino. Neste local são encontrados obstáculos como troncos, galhos, folhas e bioturbações. O sedimento inicialmente transportado durante a subida da maré acaba tendo parte aprisionada pela vegetação do manguezal, principalmente nas raízes das árvores e durante o período de estufa da maré, esse sedimento em suspensão é depositado. Esse processo ocorre quando a velocidade da corrente de maré é inferior à velocidade de decantação do grão (MAZDA *et al.*, 1997; WOLANSKI e RIDD, 1986).

Nas planícies de marés paranaenses, é possível identificar sete ecossistemas (ANGULO, 1990): I) manguezais com *Acrostichum sp.*; II) manguezais com *Hibiscus sp.*; III) marismas com *Spartina sp.*; IV) marismas com *Crinum sp.*; V) pântanos-de-maré; VI) brejos-de-maré e VII) bancos areno-argilosos. Nas áreas em estudo, a maior parte da extensão das planícies de maré é ocupada pelos manguezais, sendo que, nas partes mais internas da baía de Antonina, nos locais onde ocorre importante aporte fluvial, as marismas e os manguezais são substituídos por brejos e por pântanos-de-maré. Quando os manguezais desaparecem por completo, devido à diluição da água salgada pelas águas fluviais, ocorrem áreas com brejos-de-maré,

dominados por *Scirpus sp.* e, na parte superior, da zona entre marés, entre os brejos e a planície, ocorre a vegetação de porte arbóreo, os pântanos-de-maré.

2.2 DISTRIBUIÇÃO SEDIMENTAR ESTUARINA

A distribuição granulométrica depende da forma como cada mecanismo de transporte seleciona os grãos e posteriormente os deposita. Os processos de erosão e deposição sedimentar envolvem diversas variáveis como clima, padrão de ondas, correntes de maré e intervenção humana, além das características da fonte e do sítio deposicional. Distintos autores, como PETTIJOHN *et al.* (1972) e McCAYE (1978), mostram a importância das variações dos parâmetros granulométricos tais como diâmetro médio, grau de seleção e assimetria, ao longo do transporte sedimentar.

Os sedimentos que chegam ao estuário através do aporte fluvial, geralmente são uma mistura heterogênea de tamanhos e composição que refletem a disponibilidade de materiais existentes nas áreas fonte. MacLaren (1981), estudando as diversas mudanças que podem ocorrer nas características dos sedimentos durante o transporte, entre a área fonte e o local de deposição, argumenta que estas características são inerentes à fonte e dependentes dos processos sedimentares definidos pela deposição seletiva ou parcial dos diferentes tamanhos de grão em transporte, e pela deposição total do tamanho de grão em transporte.

Como o estuário é uma região de convergência entre dois ambientes bastante energéticos (os rios e a costa adjacente exposta às ondas), o sistema estuarino acaba por ter uma função de amortização da energia desses fluxos tornando-se um ambiente de baixa energia (DYER, 1989; 1995; 1997; WIDDOWS *et al.*, 2000; UNCLES *et al.*, 2006). Sob esta condição, os sedimentos finos (siltes e argilas) podem alcançar mais rapidamente o fundo do estuário e contribuir para a formação dos depósitos de sedimentos, em especial na região de máxima turbidez e margens, enquanto os grossos (areias e grânulos) são depositados nas desembocaduras dos rios em forma de deltas (DYER, 1995; Mc MANUS, 1998; PRANDLE *et al.*, 2006).

Bigarella *et al.*, (1978) constataram que, via de regra, os sedimentos tornavam-se cada vez mais finos e menos selecionados para o interior da baía de Paranaguá. A presença da fração grânulo ocorria mais preferencialmente nas áreas com ação fluvial, próximo aos setores mais internos do complexo. O diâmetro médio

aritmético diminuía do mar em direção ao interior da baía. A jusante de Paranaguá, a classe modal situou-se predominantemente na fração areia fina ou muito fina, sendo que na baía de Antonina a classe modal dominante foi a argila. A distribuição granulométrica das amostras de fundo foi frequentemente bimodal ou plurimodal, indicando uma origem mista do sedimento, bem como a ação conjunta de mais de um agente geológico. Os sedimentos mais bem selecionados encontravam-se na área próxima ao mar aberto, ao passo que o grau de seleção diminuía consideravelmente para o interior da baía, atingindo valores extremos na baía de Antonina. Os valores de assimetria nas amostras resultaram numa assimetria predominantemente positiva, isto é, em direção aos grãos mais finos.

Para Bigarella *et al.*, (1970; 1978) a distribuição dos sedimentos ao longo das baías de Paranaguá e Antonina é um reflexo da distribuição de energia no ambiente, havendo duas áreas preferenciais de movimentação dos sedimentos: na sua metade oriental, mais próxima ao mar aberto, predominam correntes de maré, ocorrendo o selecionamento dos sedimentos arenosos através do vaivém do fluxo e refluxo das correntes; na metade ocidental predominam fluxos diretamente influenciados pela ação fluvial, predominando a deposição de sedimentos mal a muito mal selecionados formados de silte, argila e areia.

2.3 ZONA DE MÁXIMA TURBIDEZ

Uma das principais feições hidrodinâmicas dentro de um estuário é a zona de máxima turbidez (ZMT) que, quando comparada a zonas localizadas a jusante e a montante, caracteriza-se pela alta concentração de sedimentos em suspensão (DAVIS, 1985; GRABEMANN *et al.*, 1989; DYER, 1995). Isso acontece porque existem condições ótimas para a floculação à medida que a descarga fluvial encontra a cunha de intrusão salina, o que aumenta o fluxo de deposição. Pode também ocorrer a ressuspensão dos sedimentos quando a corrente salina se arrasta junto ao fundo, colocando-os novamente na coluna de água, possivelmente desagregados, repetindo o processo (FERNANDES, 2001). As ZMTs são encontradas em estuários do mundo todo, independentemente do tamanho.

O conhecimento dos processos relacionados à ZMT contribui para um melhor gerenciamento ambiental de regiões estuarinas, principalmente em relação ao transporte e destino final de sedimentos dragados e eventualmente seus

contaminantes. Para o CEP, Noernberg (2001) definiu a localização da ZMT entre as Ilhas Gererês e o Porto de Paranaguá.

2.4 DELTA DE MARÉS

Deltas de maré vazante são construídos pelo acúmulo de sedimentos carregados pelas correntes de maré vazante e retrabalhados por ondas e correntes de deriva litorânea (BOOTHROYD, 1978). Segundo Hayes (1975), deltas de maré ocorrem em costas com regimes de micro a mesomaré (entre 0 - 2 m e de 2 - 4 m, respectivamente), associados à entrada de estuários ou lagunas formadas por ilhas barreiras. Harris (1988) propôs que a ocorrência de deltas de maré depende mais do prisma de maré, da largura da desembocadura do estuário, das mudanças no nível relativo do mar, e do montante de sedimentos disponíveis, do que da amplitude de maré por si só.

Em deltas de maré vazante, há uma dominância das correntes de enchente nos canais marginais que separam o delta de maré vazante das praias, em ambos os lados da desembocadura. Estes canais podem representar vias de menor resistência para estas, que são confrontadas pela água que ainda está fluindo para fora do estuário, tardiamente no ciclo de maré (TRENHAILE, 1997).

A morfologia da desembocadura de um estuário em costas arenosas é relacionada a vários parâmetros hidrológicos e fisiográficos como a duração das marés de enchente e vazante, descarga de água doce e transporte de sedimentos.

Os complexos estuarinos do litoral paranaense apresentam eixo principal transversal à costa. Assim, na parte interna da desembocadura não existe configuração apropriada ao desenvolvimento dos deltas de maré enchente, pois as correntes de maré enchente e vazante circulam aproximadamente na mesma área, exceto quando existe um alargamento do corpo de água na parte interna da desembocadura, como na desembocadura sul da baía de Paranaguá (ANGULO, 1999).

Segundo Angulo (1992, 1999) a desembocadura sul da baía de Paranaguá apresenta o maior delta de maré vazante do litoral paranaense.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO

A região litorânea do Estado do Paraná localiza-se entre a Serra do Mar e o Oceano Atlântico e entre os litorais dos Estados de São Paulo, ao norte, e de Santa Catarina, ao sul. Com extensão de aproximadamente de 6.600 km², abrange as bacias hidrográficas das baías de Paranaguá e Guaratuba, conforme mostrado na Figura 1.

O último mapeamento geológico de superfície da planície costeira foi realizado por Angulo (1992), na escala 1:50.000, dividindo a planície costeira nas seguintes unidades sedimentares: 1) Continental, subdividida em Formação Alexandra, leques aluviais, tálus, colúvios e sedimentos fluviais; 2) Costeira (terraços marinhos), subdividida em dunas, depressões, intercordões e praias e, 3) Estuarina, subdividida em planícies de maré, fundos rasos, deltas de maré e sedimentos paleoestuarinos.

A planície tem comprimento de aproximadamente 90 km e largura máxima em torno de 55 km na região de Paranaguá. É recortada pelas baías de Guaratuba ao sul, e pelo Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), composto por segmentos menores, como as baías dos Pinheiros, Laranjeiras, Paranaguá propriamente dita e Antonina. O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) localiza-se na porção centro norte do litoral paranaense, entre os paralelos 25° 00'S e 25° 35'S, e os meridianos 48° 15'W e 48° 50'W, e subdivide-se em dois eixos principais, denominados de baía de Paranaguá, com 56 km de extensão no eixo E-W, e baía das Laranjeiras, com 30 km de extensão no eixo N-S, conforme mostrado na Figura 1.

Segundo Lamour (2000), este complexo estuarino apresenta duas desembocaduras com deltas de maré localizados na plataforma continental interna rasa. Estas duas conexões com o Oceano Atlântico são denominadas como Norte e Sul, de acordo com a sua posição geográfica em relação à ilha do Mel. A desembocadura Norte é composta por dois canais denominados de canais Norte propriamente dito, localizado a norte da ilha das Palmas, e Sueste, localizado a sul da mesma ilha. A desembocadura Sul apresenta um canal chamado da Galheta. Os três canais, conforme mostrado na Figura 1, serviram como via navegável ao interior do CEP, de forma que passaram por diversas dragagens. Atualmente, a via de

acesso navegável que dá acesso aos navios até o porto de Paranaguá e Antonina, é o canal da Galheta, com aproximadamente 30 km de extensão até Paranaguá, e 47 km até Antonina, tendo como referência o par de bóias de sinalização náutica 1/2, consideradas o início do canal.

Durante anos, a Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA) mantém o Canal da Galheta com profundidades seguras de navegação, através de dragagens periódicas em setores específicos do canal e das bacias de evolução, divididos em trechos, assim nomeados: Alfa, Bravo I, Bravo II, Charlie I, Surdinho, Charlie II, Charlie III, Delta e Eco, que serão descritos posteriormente no item 3.3. O presente estudo restringe-se aos setores que interessam à navegação e às instalações portuárias, isto é, o eixo E-W do CEP que abrange os trechos mencionados e as baías de Paranaguá e Antonina.

FIGURA 1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO ENGLOBANDO O PRINCIPAL CANAL DE ACESSO AOS PORTOS DE PARANAGUÁ E ANTONINA (EIXO E-W), NO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ, PR



FONTE: o autor (2018)

3.2 HISTÓRICO DE DRAGAGENS NO CEP

Ao longo das últimas oito décadas, as intensas atividades portuárias demandam serviços de dragagens nos canais de acesso dos portos paranaenses e

nas bacias de evolução. As obras remontam a 1930 (SOARES, 2009), quando a cota batimétrica foi aprofundada para –8 m nas bacias de evolução e antigos canais de acesso Norte e Sueste.

Em 1968, os canais foram dragados para –10 m, devido à crescente demanda de maiores navios. Esta situação perdurou até 1972, quando se tornou necessário aprofundar os canais para -12 m e a Autoridade Portuária (APPA) optou pela abertura do atual canal da Galheta, em 1974.

Em 1998, o setor externo do canal da Galheta foi aprofundado para –15 m. O canal de acesso à região de Antonina, que foi reativado a partir de 1998 com a instalação da empresa Terminais Portuários da Ponta do Félix (TPPF), foi aprofundado para –8 m entre 1998 e 2000.

Entre 2000 e 2002, o canal de acesso à Antonina foi aprofundado para –10 m e entre 2003 e 2010, uma série de fatores decorrentes de problemas atrelados a licenciamentos ambientais e contratuais com empresas de dragagem, envolvendo a Autoridade Portuária, levou a uma crise nos serviços de dragagens, ocasionando na redução do calado oficial na região de Antonina e Paranaguá (PEIM, 2017).

Em 2011, ocorre o início do processo de regularização da dragagem e em abril de 2012, a reestruturação dos pontos críticos à navegação. Entre 2013 e 2016, obras periódicas de manutenção foram realizadas nos distintos trechos do canal.

Em julho de 2017, deu-se início a dragagem de aprofundamento, que foi dividida em duas etapas. Na primeira etapa, em execução, foram contemplados o canal, a bacia de evolução e berços públicos dos setores Alfa, Bravo (I e II) e Charlie (I, II e III), conforme mostrado na Figura 3 do item 3.3. A obra permitirá que navios graneleiros do porte de *Capesize*¹ frequentem o porto, além de navios porta-contêineres de alta capacidade. Após a conclusão da dragagem de aprofundamento I, prevista para o segundo trimestre de 2018, e concomitantemente com as dragagens de manutenção continuada, com janela de cinco anos, pretende-se realizar uma segunda obra de aprofundamento. Esta segunda etapa de aprofundamento visa receber navios de última geração, intitulados *New Panamax*²,

¹ *Cargueiros de maior porte que as embarcações dos padrões Panamax.*

² *Panamax é um termo internacionalmente aceito para os padrões de navios que possuem calado limite para acessar o Canal do Panamá até 2016, quando o canal foi ampliado.*

que após a inauguração do novo Canal do Panamá, em 2016, deverão se tornar o navio padrão em diversas rotas, inclusive na costa brasileira.

3.2.1 Área de Despejo do Material Dragado

Os efeitos ambientais e as mudanças decorrentes da destinação e deposição do material dragado podem ter consequências relativamente graves e atingem dimensões de caráter geológico, biológico, físico, oceanográfico e socioeconômico.

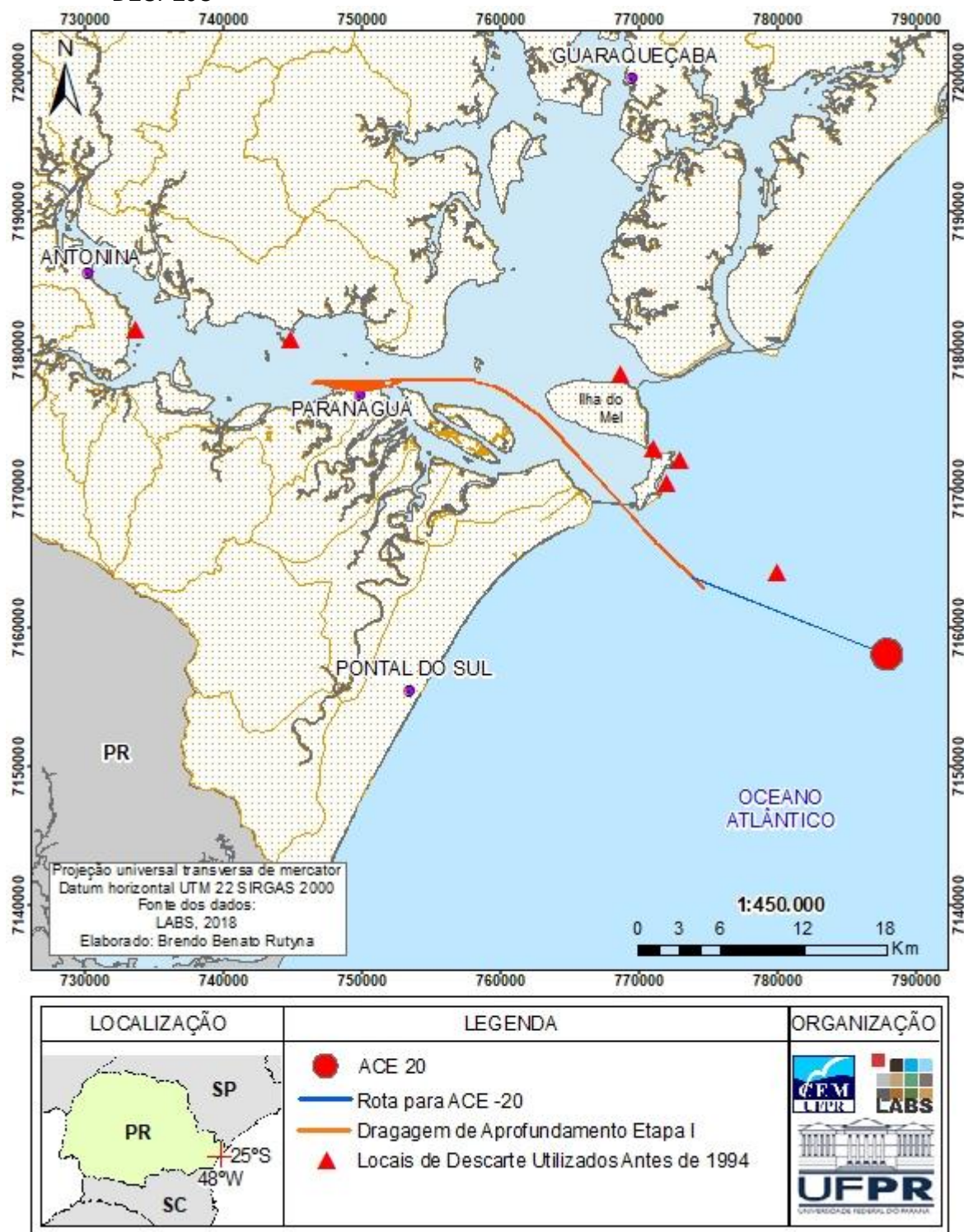
A escolha inadequada dos locais de despejo pode acarretar transformações nos padrões de circulação local, fazendo com que muitas vezes o material dragado retorne para os locais mais próximos à costa, propiciando uma intensa sedimentação ou desestabilizando praias, através de erosão (LANA e SOARES, 1994).

A preocupação com a destinação dos sedimentos dragados na baía de Paranaguá teve início em 1994, quando a Capitania dos Portos do Estado do Paraná (CPPR) solicitou ao Centro de Estudos do Mar (CEM/UFPR), um parecer técnico relativo às áreas até então autorizadas (LAMOUR, 2007). O descarte dos sedimentos era efetuado sem devida avaliação de impacto ambiental em sete regiões distintas conforme mostrado na Figura 3, sendo as áreas III e VII localizadas em áreas abrigadas, muito próximo à mesma região de onde os sedimentos foram realocados.

O local sugerido pelo CEM para descarte do material dragado denomina-se Área Circular Externa – ACE 20, com aproximadamente uma milha náutica de raio (1.852 m), que vem sendo utilizado desde 1998. Sua localização encontra-se na plataforma continental rasa a cerca de oito milhas náuticas da costa (aprox. 14.850 m), conforme mostrado na Figura 2, junto com as sete áreas de despejo anteriormente utilizadas.

O conhecimento do regime hidrográfico, da sedimentologia e da ecologia da baía fez com que as sete áreas que vinham sendo utilizadas para deposição de material dragado até 1994, fossem consideradas claramente inadequadas, conforme descrito no parecer técnico realizado em 1997.

FIGURA 2 OBRA DE APROFUNDAMENTO EM CURSO, ACE-20 E ANTIGAS ÁREAS DE DESPEJO

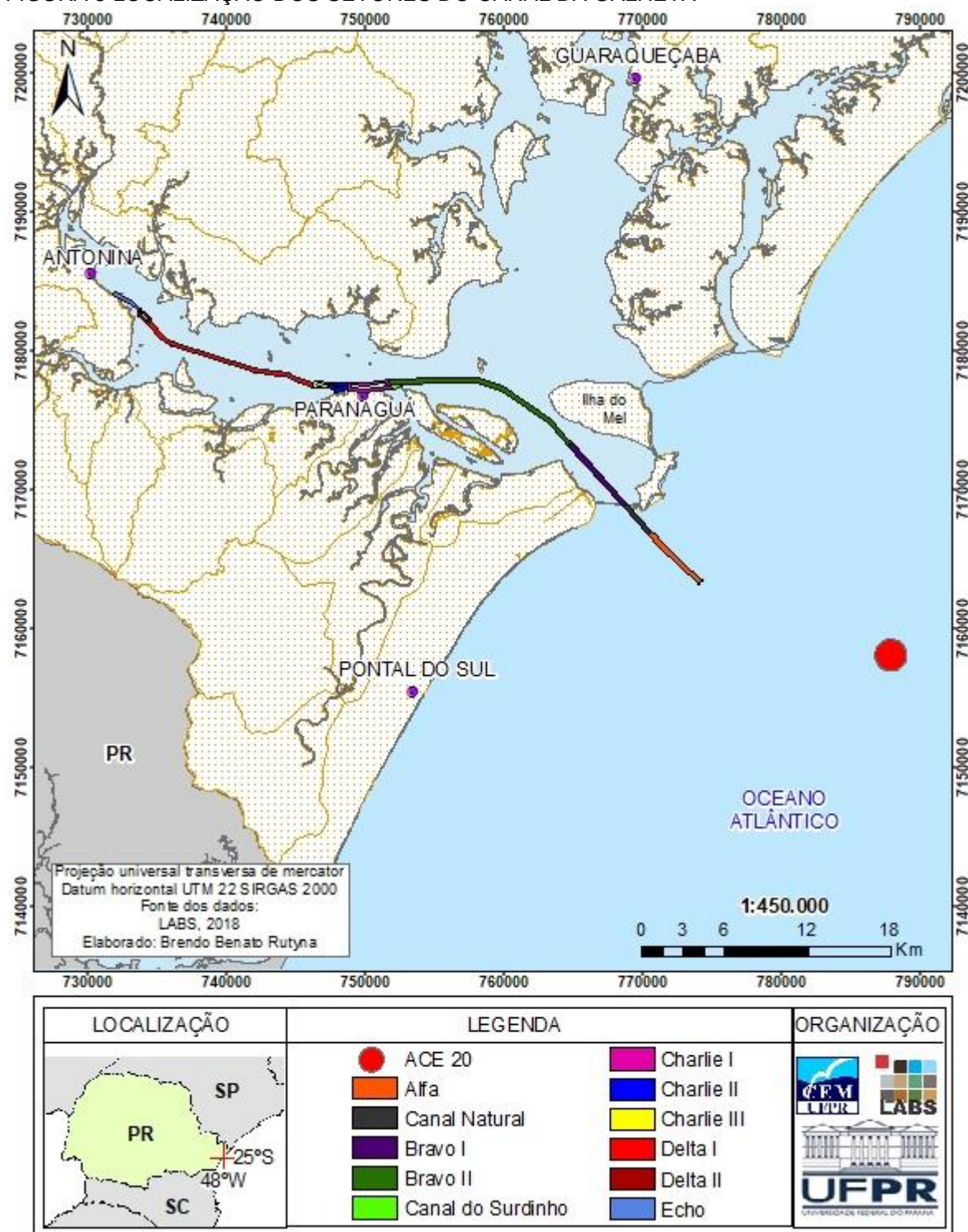


FONTE: o autor (2018)

3.3 TRECHOS

O canal da Galheta se estende desde a plataforma continental rasa até a região de Antonina (≈ 50 km) e é subdividido em oito trechos conforme ilustrado na Figura 3, cujas características estão detalhadas na Tabela 1.

FIGURA 3 LOCALIZAÇÃO DOS SETORES DO CANAL DA GALHETA



A análise das taxas de assoreamento nos canais de acesso aos portos paranaenses foi feita empregando-se esta subdivisão. Entretanto, o volume de assoreamento anual não é regular. A contribuição sedimentar é diária e varia em função da dinâmica local e de eventos episódicos, naturais ou antrópicos, assim como do comportamento dos processos naturais, tais como as marés astronômicas, níveis de precipitação, mudanças nos regimes de correntes, ventos e temperatura.

TABELA1 TRECHOS DOS CANAIS DE ACESSO E BACIAS DE EVOLUÇÃO DOS PORTOS DE PARANAGUÁ E ANTONINA

BAÍA DE PARANAGUÁ	Trecho	Comp. (m)	Larg. (m)	Prof. (m)	Aprof. (m)
Canal de Acesso	Alfa	8.630	200	15	16
	Bravo I	6.050	200	14	15
	Bravo II	14.420	200	13	14
	Surdinho	820	170	13	14
Bacia de Evolução	Charlie I	3.100	500/700	12	14
	Charlie II	-	85/100	VAR	-
	Charlie III	2.100	VAR	12	14
BAÍA DE ANTONINA	Trecho	Comp. (m)	Larg. (m)	Prof. (m)	Aprof. (m)
Canal de Acesso	Delta I	12.900	110/130	10	-
Bacia de Evolução TPPF	Delta II	980	110/450	10	-
Bacia de Evolução B. TEFFÉ	Eco	400	400	5	-

FONTE: PEIM (2017)

O volume anual estimado em função da observação do histórico das dragagens realizadas, comparado com dados da estimativa de sedimentos produzidos nas bacias de contribuição que desembocam nas baías do Complexo Estuarino de Paranaguá, leva em consideração a distribuição sedimentar no estuário através da sua hidrodinâmica e características geomorfológicas.

No caso da baía de Antonina, que contempla os Terminais Portuários da Ponta do Félix, Barão de Teffé e Terminal Matarazzo, cabe ressaltar que não existem obras de aprofundamento em curso. Considerando a não existência de obras de aprofundamento dos trechos Delta I e II e Eco, as metas definidas no Planejamento Estratégico da Infraestrutura Marítima dos Portos do Paraná (PEIM-PR) estão relacionadas às intervenções físicas para manutenção do canal de navegação existente para a cota -9,50 m.

3.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA REGIÃO

A área de drenagem das bacias hidrográficas até a baía de Antonina, que consiste na porção estuarina em que a Serra do Mar mais se afasta em relação à linha de costa atual, evidencia predominantemente dois grandes compartimentos geomorfológicos: Serra do Mar e Planície Litorânea (MAACK, 1968; BIGARELLA *et al.*, 1978; OKA-FIORI e CANALI, 1998 e PAULA, 2010). No primeiro encontram-se solos pouco desenvolvidos, dentre os quais se destacam os Cambissolos Háplicos e os Neossolos Litólicos, também se verificando significativas declividades, em geral superiores a 30% (PAULA *et al.*, 2006).

No compartimento da Planície Litorânea verifica-se o predomínio de sedimentos aluvionares não consolidados associados a solos hidromórficos (Gleissolos, Cambissolos Flúvicos e Neossolos Flúvicos). Nesse compartimento, notam-se processos erosivos decorrentes das taxas de escoamento superficial, em razão da rápida saturação dos solos hidromórficos diante de eventos pluviométricos de elevada magnitude, além da expressiva alteração morfológica dos canais fluviais devido ao assoreamento dos mesmos (PAULA, 2010; SANTOS *et al.*, 2015).

A porção litorânea do Paraná apresenta os mais elevados totais anuais pluviométricos do estado, superando os 2.000 mm. No entanto, valores observados na vertente leste da Serra do Mar, estão entre os mais expressivos do país, já que supera o total acumulado anual de 3.500 mm, conforme se verifica na estação do Véu da Noiva, situada a 680 m de altitude. Essas regiões onde os valores anuais de precipitação superam os 2.800 mm, encontram-se em porções mais elevadas da serra, propiciando processos erosivos de maior intensidade, bem como a ocorrência de movimentos de massa (PAULA, 2010).

De acordo com Marone *et al.*, (1997), a porção do eixo E-W do CEP age como um estuário raso parcialmente misturado com heterogeneidades laterais e penetra aproximadamente 46 km na planície litorânea, com uma largura máxima de 10 km. A porção leste, com influência marinha predominante, possui uma série de faixas de restinga e cordões litorâneos com vestígios de diversas lagoas colmatadas. A porção oeste, com predominância da influência fluvial, apresenta-se como amplo estuário (BIGARELLA, 1978).

A circulação principal das águas no CEP é controlada pelo fluxo e refluxo das marés, com menor efeito de recarga dos rios. A velocidade das correntes é maior no

refluxo do que no fluxo, devido ao represamento das águas fluviais durante a preamar. A maré apresenta regime semi-diurno, onde ocorrem duas preamares e duas baixa-mares em um dia lunar (24h 50min) com desigualdades diurnas. A média das alturas das marés de quadratura e de sizígia são, respectivamente, 1,3 e 1,7 m em sua desembocadura, e 2,0 e 2,7 m em sua cabeceira (MARONE e JAMIYANAA, 1997). As cunhas de água doce e salgada interagem, originando grandes contrastes de salinidade durante o fluxo e refluxo das marés. Estes controlam igualmente a erosão e a sedimentação e desta forma a distribuição das ilhas e das costas côncavas e convexas (BIGARELLA, 1978).

O regime de ondas que adentram a desembocadura sul do CEP segundo Lana *et al.* (2001), provém preferencialmente do quadrante SE, com altura média de 0,5 m, e períodos variando entre 3 e 7 s, atingindo uma altura máxima de 2 a 3 m nos eventos de ressaca³. O comportamento das ondas no interior do estuário é regido pela influência das áreas rasas que formam o delta de maré vazante localizado nas desembocaduras do CEP, onde as pequenas profundidades tendem a esgotar a sua energia, reduzindo a penetração no estuário em determinados períodos (MARONE *et al.*, 1997; LAMOUR *et al.*, 2007; LAMOUR e SOARES, 2008).

Lamour (2007) afirma que no Complexo Estuarino de Paranaguá podem ser verificadas variações abruptas de profundidades relativas às extensas áreas rasas (planícies inter-marés) e profundas (canais). Nos canais ocorrem as maiores profundidades do CEP, variando entre as isóbatas -5 e -20 m. Estas são áreas sujeitas à dragagem, de forma que as profundidades podem sofrer alterações. Ainda, por apresentarem maior profundidade, são setores propensos a rápidos processos de assoreamento (LAMOUR e SOARES, 2007).

Noernberg *et al.* (2007) salientaram que a turbulência gerada por ondas de tempestade atua amplificando o transporte por carga de fundo, promovendo o assoreamento do canal navegável aos portos costeiros do Paraná. Os mesmos autores verificaram que as correntes de maré acompanham a via de navegação, com uma preponderância das correntes de maré vazante sobre as de enchente em toda a coluna d'água.

³ Nome comum a incidência de sistemas frontais com agitação marítima acentuada associadas à destruição de áreas ocupadas

Nos estuários, as correntes de maré constituem os principais agentes de transporte. Os sedimentos são transportados para montante ou jusante conforme o sentido da corrente. No CEP, verifica-se um saldo de transporte para jusante devido à maior competência do refluxo, incrementado pelas águas fluviais represadas pela preamar (CATTANI, 2012).

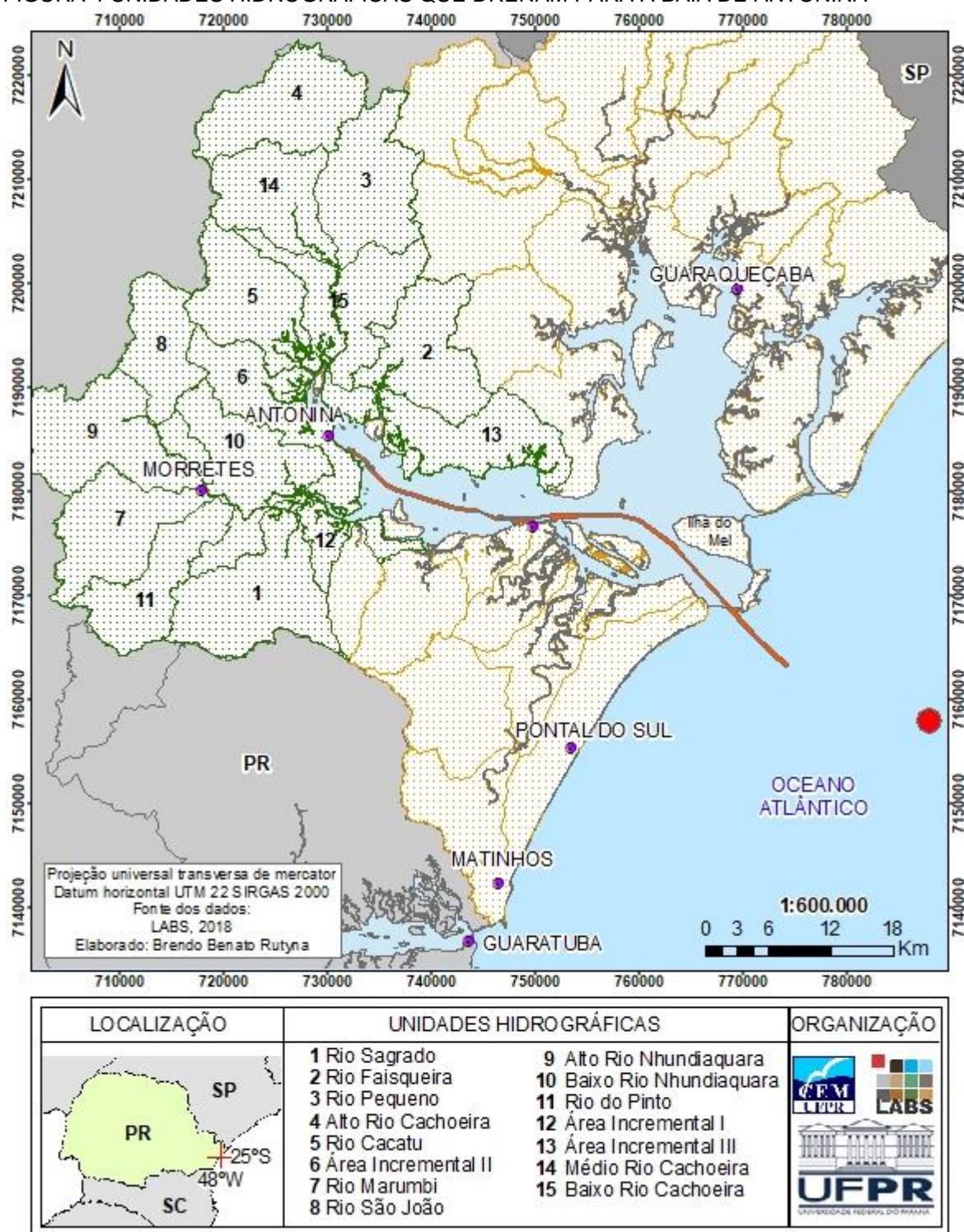
3.5 UNIDADES HIDROGRÁFICAS

Adotou-se unidade hidrográfica como a composição das bacias hidrográficas e, esta, como sendo uma área que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial (NETTO, 1998).

Na área de drenagem que escoar para a baía de Antonina, a qual soma 1.500 km², Paula (2010) delimitou apenas as cinco maiores bacias (Nhundiaquara, Cachoeira, Sagrado, faisqueira e Cacatu), as mesmas que serão analisadas no presente estudo conforme mostrado na Figura 4. As bacias hidrográficas de menor dimensão foram agrupadas nas chamadas áreas incrementais, resultando num total de três dessas áreas.

Ao adotar unidade hidrográfica como a composição das bacias hidrográficas e áreas incrementais, optou-se pela subdivisão das Bacias dos Rios Nhundiaquara e Cachoeira em áreas menores, na intenção de facilitar a comparabilidade entre as unidades. Assim, a bacia do rio Nhundiaquara foi dividida em cinco sub-bacias, sendo elas: Alto Nhundiaquara, São João, do Pinto, Marumbi e Baixo Nhundiaquara. Já a bacia do rio Cachoeira foi dividida em Alto Cachoeira, Médio e Baixo Cachoeira (PAULA *et al.*, 2016).

FIGURA 4 UNIDADES HIDROGRÁFICAS QUE DRENAM PARA A BAÍA DE ANTONINA



FONTE: o autor (2018)

De acordo com Paula e Cunico (2007), as unidades hidrográficas que drenam para o eixo E-W do CEP têm uma área de 2.078,86 km². Novamente é importante ressaltar que o maior índice pluviométrico do estado está localizado na área de drenagem do estuário.

3.6 CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS DO ESTUÁRIO

Os aspectos sedimentológicos das baías de Paranaguá e Antonina são controlados pelos processos erosivos que atuaram e ainda agem na Serra do Mar. Estes processos variaram no tempo de acordo com as variações das condições paleoclimáticas. A região serrana constitui a principal área fonte dos sedimentos, que vem, progressivamente, assoreando e modificando a extensão das baías. Os movimentos de massa encontram-se especialmente ligados às condições climáticas úmidas, ao intemperismo químico profundo e à declividade e altura das vertentes (BIGARELLA *et al.*, 1978; LAMOUR *et al.*, 2004; LAMOUR e SOARES, 2007).

O fornecimento de grande quantidade de sedimentos pelos rios que deságuam na baía e seu retrabalhamento pelas correntes de maré contribuiu para o preenchimento de áreas específicas, principalmente na baía de Antonina. As crescentes taxas de assoreamento da baía de Antonina e a dinâmica de uso e ocupação de suas bacias de drenagem podem ser explicadas pela recente ocupação de áreas mais suscetíveis à disponibilização de sedimentos, em detrimento à redução da utilização de porções menos suscetíveis. A maior produção de sedimentos foi identificada nas porções de sopé da Serra do Mar, morros e colinas, nas quais a densidade de estradas rurais, bem como os percentuais de uso agropecuário, mostram-se elevados (PAULA, 2016).

Os sedimentos na baía são transportados e depositados principalmente pelas forças hidrodinâmicas associadas ao transporte, como correntes, ondas ou uma combinação de ambas, além das características sedimentares e batimétricas da região. Estas fazem com que os processos hidrodinâmicos respondam imediatamente às condições impostas pela forma do fundo (LAMOUR, 2007).

3.6.1 Caracterização dos Sedimentos de Fundo

As características dos sedimentos de fundo de uma área costeira são geridas devido aos complexos arranjos entre os parâmetros geológicos, oceanográficos e meteorológicos (LAMOUR *et al.*, 2005). Neste sentido, é comum ocorrer mudanças frequentes em sua distribuição. Assim, diversos levantamentos das características dos sedimentos de fundo foram realizados no CEP, dentre os quais podem ser

citados os realizados por Bigarella (1978), Soares *et al.* (1996), Lamour *et al.* (2005), Cattani (2012) e Cattani *et al.* (2016), cujos parâmetros serão descritos a seguir

3.6.1.1 Diâmetro Médio

As variações do diâmetro médio dos sedimentos de fundo ao longo do canal da Galheta ocorrem em três tipos distintos de ambientes deposicionais. O primeiro que abrange a ACE e as áreas Alfa, Bravo Uno e Dois, com sedimentos que variam entre areia média a fina (1 a 3 na escala Phi). O segundo que abrange o início da área Charlie Uno até o final da área Charlie Três, onde os sedimentos passam a apresentar um diâmetro médio variável entre areias finas a muito finas (2 a 3 na escala Phi) e silte fino (Phi 7). Nas áreas Delta Uno e Dois, o diâmetro médio dos grãos diminui de maneira a permanecer entre silte médio e argila (Phi entre 5 e 8). Esta tendência de sedimentos finos fica mantida nos primeiros pontos da área Eco, porém quanto mais a montante do estuário maior o diâmetro médio do grão. Os setores marginais ao canal navegável apresentam engrossamento de diâmetro médio para montante do estuário.

3.6.1.2 Grau de Seleção

O grau de seleção dos sedimentos pode ser entendido como uma forma de avaliação do grau de mistura entre diferentes tamanhos médios de grão, isto é, quanto maior a quantidade de um determinado tamanho médio de grão, melhor será o grau de seleção do local e vice-versa.

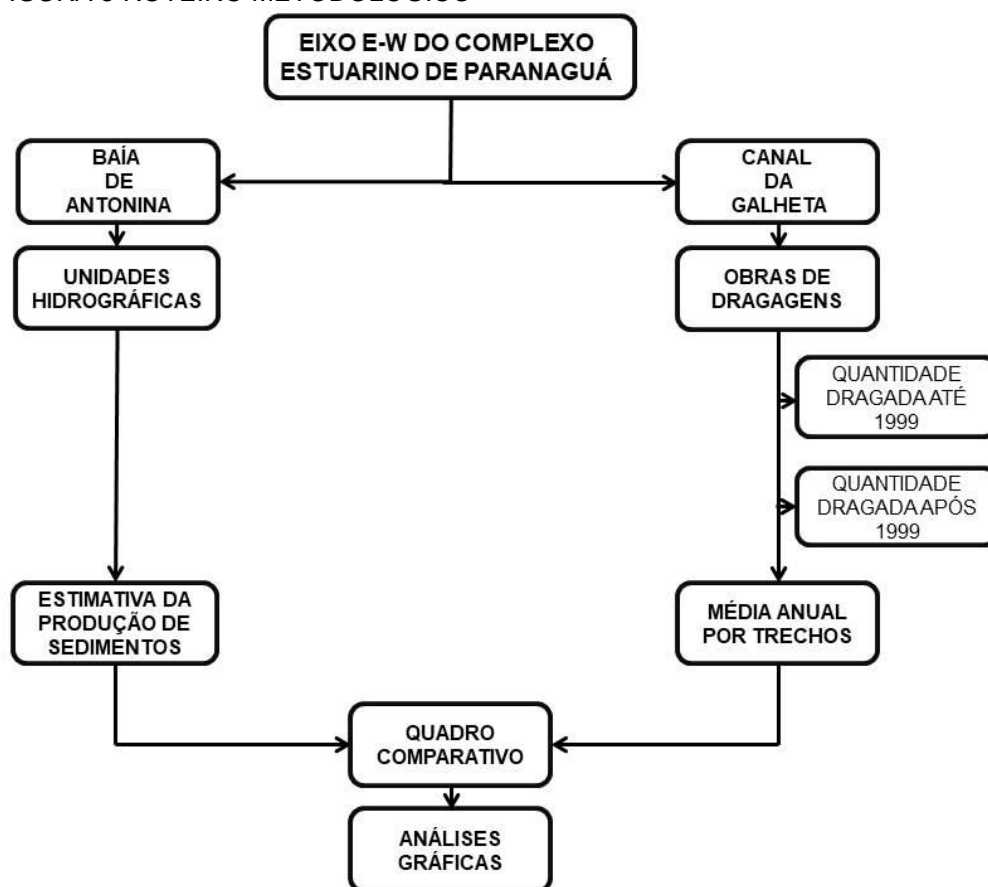
As áreas ACE, Alfa e Bravo Uno apresentam sedimentos de bem a moderadamente selecionados. A partir da área Bravo Dois os sedimentos sofrem um decréscimo no grau de seleção, apresentando valores que variam de moderadamente a pobremente selecionados, de jusante para montante do estuário. Nas áreas Charlie Uno, Dois e Três os sedimentos apresentam um padrão oscilatório no perfil longitudinal. Porém, predominam sedimentos pobremente selecionados na porção próxima ao cais do porto de Paranaguá, enquanto que na porção mais distante desta mesma área são observados sedimentos muito pobremente selecionados. Nas áreas Delta Uno, Delta Dois e Eco os sedimentos apresentam um caráter de diminuição progressiva do grau de seleção, de jusante

para montante do estuário. Nas áreas localizadas fora da área de planejamento de dragagem, o padrão verificado foi o de diminuição do grau de seleção dos sedimentos de jusante para montante do estuário.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os objetivos e etapas do trabalho são mostrados na Figura 5.

FIGURA 5 ROTEIRO METODOLÓGICO



4.1 PEIM – PR 2017

O planejamento estratégico nacional portuário é representado pela elaboração do Plano Nacional de Logística Portuária (PNLP, 2015) e dos Planos Mestres dos Portos, sendo o operacional definido pelo Plano de Desenvolvimento e Zoneamento (PDZ). Nesse contexto, o projeto intitulado “Planejamento Estratégico da Infraestrutura Marítima dos Portos do Paraná – PEIM-PR”, desenvolvido em conjunto com a comunidade portuária a partir da Portaria nº 202/2017, de 25 de maio de 2017, visa complementar o capítulo relativo à infraestrutura marítima do

PDZPO e definir premissas detalhadas de curto, médio e longo prazo para o aperfeiçoamento da área marítima dos portos do Paraná. Dada a importância do PEIM-PR no contexto estratégico das atividades do porto de Paranaguá, o Conselho de Administração da APPA deliberou na reunião nº 034, de 29 de junho de 2017 a obrigatoriedade da elaboração e execução do PEIM-PR, em complemento ao PDZPO dos Portos do Paraná (PEIM, 2017).

Este documento foi utilizado no presente trabalho por ter sido publicado todo o histórico de dragagens desde 1963 até 2016, contendo dados detalhados envolvendo a empresa executora e volumes dragados nos determinados trechos que compõem o canal da Galheta. Optou-se por dividir o histórico de dragagens do CEP em dois momentos: de 1963 até 1999 e de 1999 até 2016, levando em consideração que os dados de dragagens anteriores a 1999 se restringem a setores diferentes das segmentações atuais do canal da Galheta.

4.1.1 Histórico das dragagens realizadas até 1999

Disponível no PEIM – PR (2017), os dados foram planilhados na ferramenta *Microsoft Office Excel* em colunas contendo: I) Ano e período das obras de dragagens; II) Objetivo das obras; III) Trecho dragado; IV) Volume ($\times 10^3 \text{m}^3$) dragado no canal da Galheta; V) Volume ($\times 10^3 \text{m}^3$) dragado na bacia de evolução do porto de Paranaguá; VI) Volume ($\times 10^3 \text{m}^3$) dragado em outros setores como os canais de acesso Norte e Sueste e depositados em um aterro hidráulico; VII) Batimetria de projeto pretendida; VIII) Draga utilizada; e IX) Empresa responsável.

4.1.2 Dragagens após 1999

Também disponível no PEIM – PR (2017) e utilizando o mesmo método descrito no item 4.1.1, mensurou-se: I) Ano e período das obras de dragagens; II) Objetivo das obras; III) Volume (m^3) dragado no setor Alfa; IV) Volume (m^3) dragado no setor Bravo I; V) Volume (m^3) dragado no setor Bravo II; VI) Volume (m^3) dragado no setor Charlie I; VII) Volume (m^3) dragado no setor Surdinho; VIII) Volume (m^3) dragado no setor Charlie II; IX) Volume (m^3) dragado no setor Charlie III; X) Volume (m^3) dragado no setor Delta I e II; Volume (m^3) dragado no setor Eco; XI) Draga utilizada; e XII) Empresa responsável.

4.1.3 Média Anual por Trechos

Obtendo-se a relação anual da quantidade dragada nos diferentes setores do canal da Galheta, conforme descrito nos itens 4.1.1 e 4.1.2, foi possível calcular a estimativa anual da quantidade de sedimentos realocados através destas obras, para cada subdivisão, durante as últimas cinco décadas. A análise das taxas de assoreamento nos canais de acesso aos portos costeiros foi feita empregando-se estas subdivisões.

4.2 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

A estimativa da produção de sedimentos nas unidades hidrográficas consiste no grau de suscetibilidade erosiva conforme sugerido por Goldbach (2018), Wrobleviski (2016), Paula (2010) e Crepani (2001), com valores elevados nas porções de sopé da Serra do Mar, morros e colinas, onde se verificou uma densidade alta de estradas rurais e de uso agropecuário que intensificam o processo de erosão.

As bacias hidrográficas de contribuição adotadas no presente trabalho serão aquelas detalhadas por Paula et al., (2018), onde estimou-se a produção de sedimentos para 43 unidades hidrográficas que drenam para o CEP, das quais foram selecionadas somente aquelas que drenam para a baía de Antonina, mostradas na Figura 4 e assinaladas na Tabela I. A estimativa foi analisada em comparação com a distribuição de sedimentos no estuário, assim como sua relação com a quantidade de sedimentos dragados historicamente nos trechos do Canal da Galheta.

4.3 DISTRIBUIÇÃO SEDIMENTAR

Para a análise da distribuição sedimentar dentro do CEP, em relação à estimativa da produção de sedimentos, utilizaram-se trabalhos apresentados inicialmente por Mantovanelli (1999), Lamour (2007), Cattani (2012) e Lamour e Cattani (2016), no qual o objetivo se embasa em estabelecer as características da cobertura sedimentar e o contexto de sua distribuição no eixo E-W do CEP pela integração espacial de parâmetros ambientais, tais como batimetria, declividade,

padrões sedimentológicos e velocidades das correntes de maré, de forma a identificar uma dinâmica de preenchimento.

TABELA 2 UNIDADES HIDROGRÁFICAS DA ÁREA DE DRENAGEM DA BAÍA DE ANTONINA

Unidade Hidrográfica	Área (Km ²)
Alto Rio Cachoeira	112,6
Médio Rio Cachoeira	92,9
Baixo Rio Cachoeira	109,7
Alto Rio Nhundiaquara	141
Baixo Rio Nhundiaquara	115,3
Rio Sagrado	135
Rio Pequeno	112,5
Rio Cacatu	106,2
Rio Faisqueira	103,02
Rio Marumbi	102,8
Rio do Pinto	87,6
Rio São João	71,5
Área Incremental 1	34,4
Área Incremental 2	95,5
Área Incremental 3	119,3

FONTE: Paula *et al* (2017)

4.4 QUADRO COMPARATIVO E ANÁLISES GRÁFICAS

Trata-se da relação entre: (I) A estimativa de produção em m³ e t.a⁻¹ de sedimentos de cada unidade hidrográfica que drena para a baía de Antonina, a partir dos dados levantados por Paula *et al.*, (2018); (II) O volume em m³ e t.a⁻¹ de material dragado em cada trecho do canal de acesso aos portos, entre o período 1999 -2016; e a quantidade de material dragado durante a obra de aprofundamento I, entre julho de 2017 e agosto de 2018. O cálculo para transformação de m³ de sedimentos dragados para t foi realizado segundo a metodologia apresentada por Gonçalves Pereira (2013), onde se considerou a massa específica dos sedimentos (areia grossa, média, fina, silte e argila) equivalente a 2,650 kg.m⁻³. *A priori*, todo o material dragado é inconsolidado e constituído basicamente por areia e lama, em porções variáveis, chegando a ocorrer cascalho nos canais mais profundos.

Gráficos estatísticos e cartogramas serão gerados para análises gráficas a partir deste quadro, através de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) por meio do *software* de geoprocessamento em ambiente ArcGIS 10.2.2.

5 RESULTADOS

5.1 QUADRO COMPARATIVO

A relação da quantidade de sedimentos produzidos em cada unidade hidrográfica é mostrada no Quadro 1, onde é possível notar uma preponderância à maior produção em quatro delas, sendo elas: I) Alto Rio Nhundiaquara; II) Rio Sagrado; III) Alto Rio Cachoeira e IV) Baixo Rio Nhundiaquara. Entretanto, as médias anuais de volumes dragados nos respectivos trechos não possuem uma representação fidedigna do que realmente está sendo aportado pelas bacias de drenagem. Para isso, deve ser considerado um retardo de alguns anos ou décadas, entre o que está em fase de erosão/transporte nas bacias de drenagem e o que está em fase de deposição parcial dentro do estuário, considerando que há diversos pontos possíveis de retenção destes sedimentos antes que cheguem às desembocaduras fluviais. Ainda assim, devem ser levadas em consideração as forçantes oceanográficas que são controladoras dos processos de transporte e deposição dentro do estuário. Portanto, para uma representação mais aproximada da realidade, a relação entre taxa de produção e sedimentação foi comparada com a distribuição geomorfológica e sedimentológica do eixo E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá. A quantidade de sedimentos dragados entre 1999 e 2016 foi demonstrado no Quadro 2, com destaque para duas regiões específicas com maior propensão ao assoreamento. São elas, o trecho Alfa e Deltas I e II, gerando uma quantidade de $1.646.807 \text{ m}^3.\text{a}^{-1}$ (ou $4.364.038.550 \text{ t}.\text{a}^{-1}$) de sedimentos realocados, ou seja, aproximadamente 61% do valor total entre todos os trechos.

Para fins de comparação, também foi demonstrado no Quadro 3 a relação da quantidade dragada na obra de aprofundamento I. O setor Alfa novamente se sobressaiu, havendo uma retirada de sedimentos na ordem de $4.595.988,4 \text{ m}^3$ (ou $1.217.9369.313 \text{ t}$). Vale lembrar que não houve aprofundamento nos setores Deltas. Tendo estes valores em vista, nota-se a importância que deve ser atribuída ao estudo das áreas de despejos. Além disso, o processo de assoreamento não deve ser tratado apenas por obras de dragagens a fim de garantir calado aos navios e segurança à navegação, mas devem-se analisar as áreas fontes desta sedimentação se o objetivo for a prosperidade das atividades portuárias nos próximos anos.

QUADRO 1 RELAÇÃO ENTRE OS VALORES ESTIMADOS DE SEDIMENTOS PRODUZIDOS PELAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS EM $\text{m}^3.\text{a}^{-1}$ E EM $\text{t}.\text{a}^{-1}$

BACIAS HIDROGRÁFICAS

Unidade Hidrográfica	Área (km^2)	Estimativa da Produção de Sedimentos ($\text{m}^3.\text{a}^{-1}$)	Estimativa da Produção de Sedimentos ($\text{t}.\text{a}^{-1}$)
Alto Rio Nhundiaquara	140,7	3,77	10.002,30
Rio Sagrado	134,8	3,68	9.751,00
Área Incremental 3	118,8	1,22	3.234,80
Baixo Rio Nhundiaquara	115,1	3,08	8.166,90
Alto Rio Cachoeira	112,5	3,16	8.379,30
Rio Pequeno	112,5	2,33	6.166,30
Baixo Rio Cachoeira	109,4	2,44	6.453,00
Rio Cacatu	106	2,05	5.430,70
Rio Faisqueira	103,1	1,89	5.001,50
Rio Marumbi	102,7	2,82	7.467,90
Área Incremental 2	95,1	1,85	4.912,00
Médio Rio Cachoeira	92,8	2,21	5.856,50
Rio do Pinto	87,5	2,24	5.938,10
Rio São João	71,4	1,24	3.275,20
Área Incremental 1	34,3	0,88	2.322,80
TOTAL	1261,2	27,40	72.605,00

FONTE: Paula *et al* (2017)

QUADRO 2 QUANTIDADE EM $\text{m}^3.\text{a}^{-1}$ e $\text{t}.\text{a}^{-1}$ DE SEDIMENTOS DRAGADOS NOS TRECHOS DO CANAL DA GALHETA ENTRE 1999 E 2016

CANAL DA GALHETA

Trecho	Área (km^2)	Estimativa da Quantidade Dragada ($\text{m}^3.\text{a}^{-1}$)	Estimativa da Quantidade Dragada ($\text{t}.\text{a}^{-1}$)
ALFA	1752	909.518,00	2.410.222.700,00
BRAVO I	1168	230.517,00	610.870.050,00
BRAVO II	2880	137.898,03	365.429.779,50
SURDINHO	144	161.441,00	427.818.650,00
CHARLIE I	1559,9	156.578,50	414.933.025,00
CHARLIE II (Berços)	141	108.204,97	286.743.170,50
CHARLIE III	1013	250.275,39	663.229.783,50
DELTA I E II	1390	737.289,00	1.953.815.850,00
ECHO	143,5	0,00	0,00
TOTAL	10.191,4	2.691.721,89	7.133.063.008,50

FONTE: PEIM (2017)

QUADRO 3 QUANTIDADE EM $m^3.a^{-1}$ e $t.a^{-1}$ DE SEDIMENTOS DRAGADOS NOS TRECHOS CORRESPONDENTES A OBRA DE APROFUNDAMENTO I NO PERÍODO DE JULHO DE 2017 A AGOSTO DE 2018

APROFUNDAMENTO I		
Trecho	Estimativa da Quantidade Dragada ($m^3.a^{-1}$)	Estimativa da Quantidade Dragada ($t.a^{-1}$)
ALFA	4595988,4	12.179.369.313,00
BRAVO I	1501271,6	3.978.369.793,00
BRAVO II	2132856,4	5.652.069.513,00
SURDINHO	133035,98	352.545.347,00
CHARLIE I	2855447,6	7.566.936.140,00
CHARLIE III	1696180	4.494.876.867,50
TOTAL	12914780	34.224.167.053,00

FONTE: PEIM (2017)

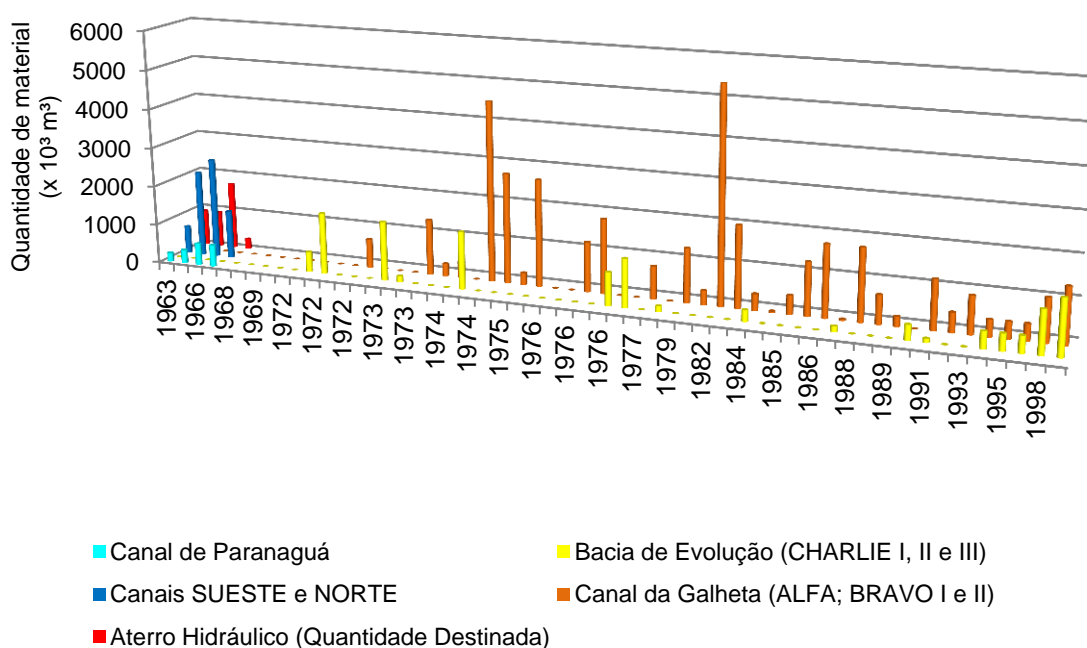
5.2 ASSOREAMENTO ANUAL POR SETOR

5.2.1 Entre 1963 e 1999

A quantidade de sedimentos dragados em períodos específicos está ilustrado no Gráfico 1. Entre 1963 e 1972, o acesso ao Porto de Paranaguá era realizado pelos canais Norte e Sueste, seguido pelo canal de Paranaguá, propriamente dito, que levaria até as instalações portuárias. Nestes setores, o total de sedimentos dragados para aprofundamento e manutenção dos calados possui uma ordem de $573.500 m^3$ para o canal de Paranaguá e $6.664.200 m^3$ para os canais Norte e Sueste. Uma quantia de $3.793.000 m^3$ foi destinado ao aterro hidráulico, localizado na área retro portuária, com o objetivo de expansão dos cais e berços de atracação.

Após a abertura do canal da Galheta, em 1972, a quantidade de sedimentos retirados da bacia de evolução, área restrita para balisamento dos navios (atuais trechos Charlie's I, II e III) foi de $12.092.222 m^3$ ente 1972 e 1999. Já o canal da Galheta em si, apresentou valores dragados significativamente maiores, na ordem de $39.855.670 m^3$.

GRÁFICO 1 QUANTIDADE ANUAL DE SEDIMENTOS ($\times 10^3 \text{ m}^3$) REALOCADOS ENTRE 1963 E 1999 NOS ANTIGOS CANAIS DE ACESSO NORTE E SUESTE; NO TRECHO DE ACESSO AO PORTO DE PARANGUÁ; A QUANTIDADE DESTINADA PARA ATERRO RETROPORTUÁRIO (ATERRO HIDRÁULICO) E POSTERIORES OBRAS EFETUADAS A PARTIR DA ABERTURA DO CANAL DA GALHETA PARA ACESSO A BACIA DE EVOLUÇÃO E BERÇOS DE ATRACAÇÃO



FONTE: o autor (2018)

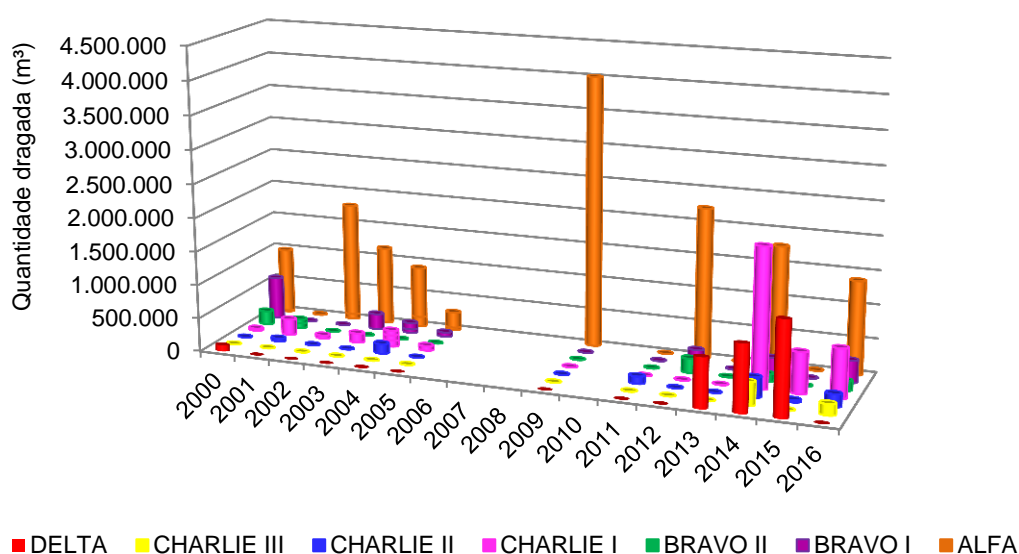
5.2.2 Entre 1999 e 2016

Com a reativação do canal de acesso à região de Antonina em 1998, em função da instalação da empresa Terminais Portuários da Ponta do Félix (TPPF), o canal da Galheta foi segmentado nos trechos conforme a legenda do Gráfico 2.

A falta de planejamento dos serviços de dragagens ficou evidente ao analisar o período entre 2003 e 2010, quando praticamente não houve material realocado. Com o eminente risco de rebaixamento do calado do canal de acesso (área Alfa) de -11,30 m para -9,80 m, a APPA contrata em emergência por dispensa de licitação a empresa SOMAR para realizar a manutenção do setor. Somente nesta obra, foram dragados 4.007.292,34 m^3 de sedimentos. Em dezembro de 2010, deu-se início a serviços de dragagem de manutenção na medida em que o processo emergencial anterior realizou dragagem somente nos canais de acesso ao Porto de Paranaguá.

O total de sedimentos realocados entre 1999 e 2016 nos segmentos do canal é de: 14.770.481,87 m³ em Alfa; 1.932.953,93 m³ em Bravo I; 881.350,05 m³ em Bravo II; 352.017,00 m³ no canal do Surdinho; 4.424.650,39 m³ em Charlie I; 809.134,79 m³ em Charlie II; 500.550,77 m³ em Charlie III e 3.214.967,97 m³ nos setores Delta I e II, não havendo obras no setor Echo.

GRÁFICO 2 QUANTIDADE ANUAL DE SEDIMENTOS REALOCADOS ENTRE 1999 E 2016 NOS TRECHOS ALFA; BRAVO I E II; CHARLIE I, II E III; E DELTA I E II.



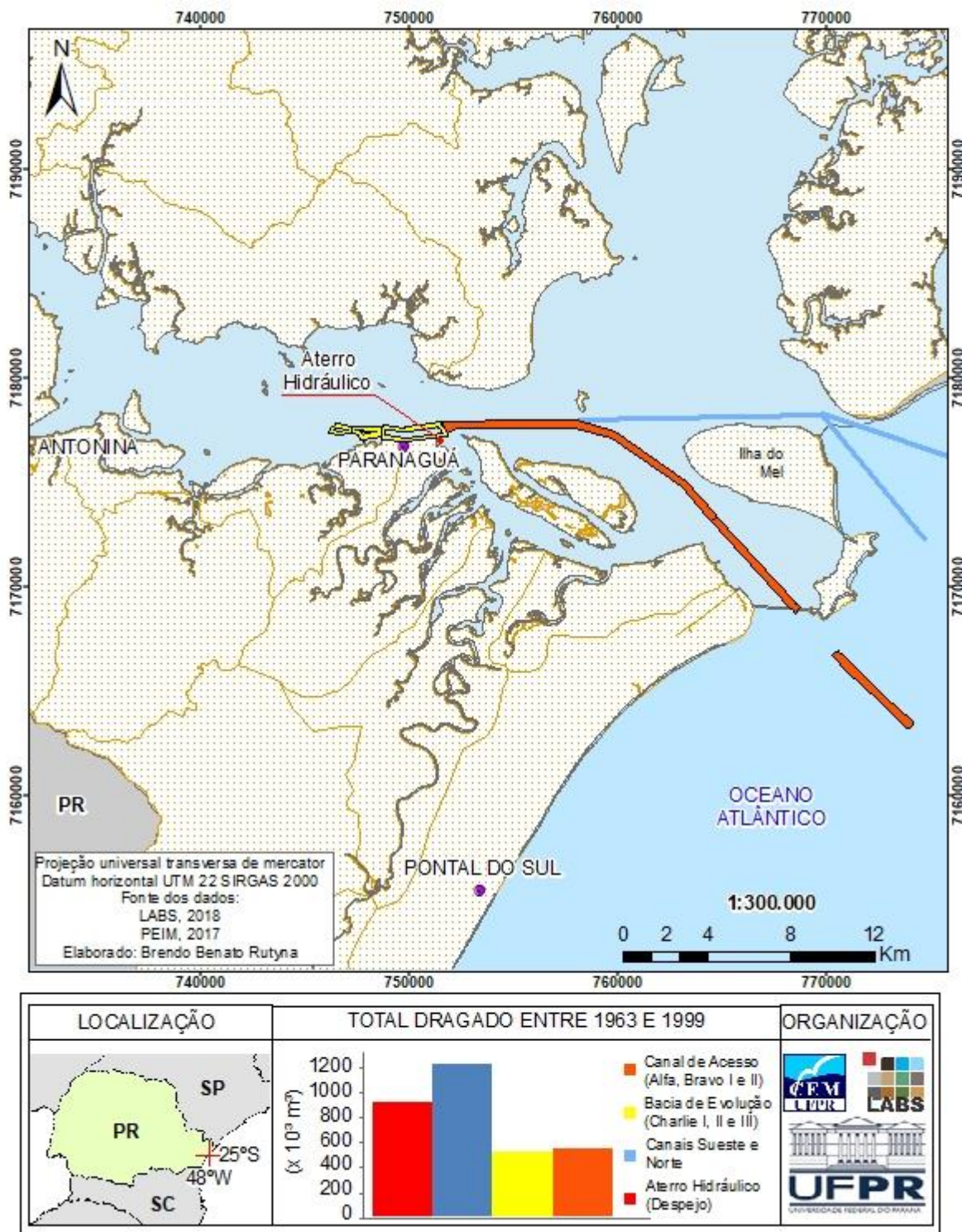
FONTE: o autor (2018)

5.3 MÉDIA ANUAL DE SEDIMENTOS DRAGADOS

5.3.1 Entre 1963 e 1999

A média anual de assoreamento nos setores do canal da galheta entre 1963 e 1999 está expresso na Figura 6, quando ainda se utilizavam os antigos canais norte e sueste indicados pela cor azul. Também é possível visualizar a área retroportuária utilizada como aterro hidráulico do material dragado, para ampliação dos cais de acostagem.

FIGURA 6 MÉDIA ANUAL DE ASSOAREAMENTO NOS SETORES DO CANAL DA GALHETA ENTRE 1963 E 1999, QUANDO AINDA SE UTILIZAVAM OS ANTIGOS CANAIS NORTE E SUESTE (EM AZUL)

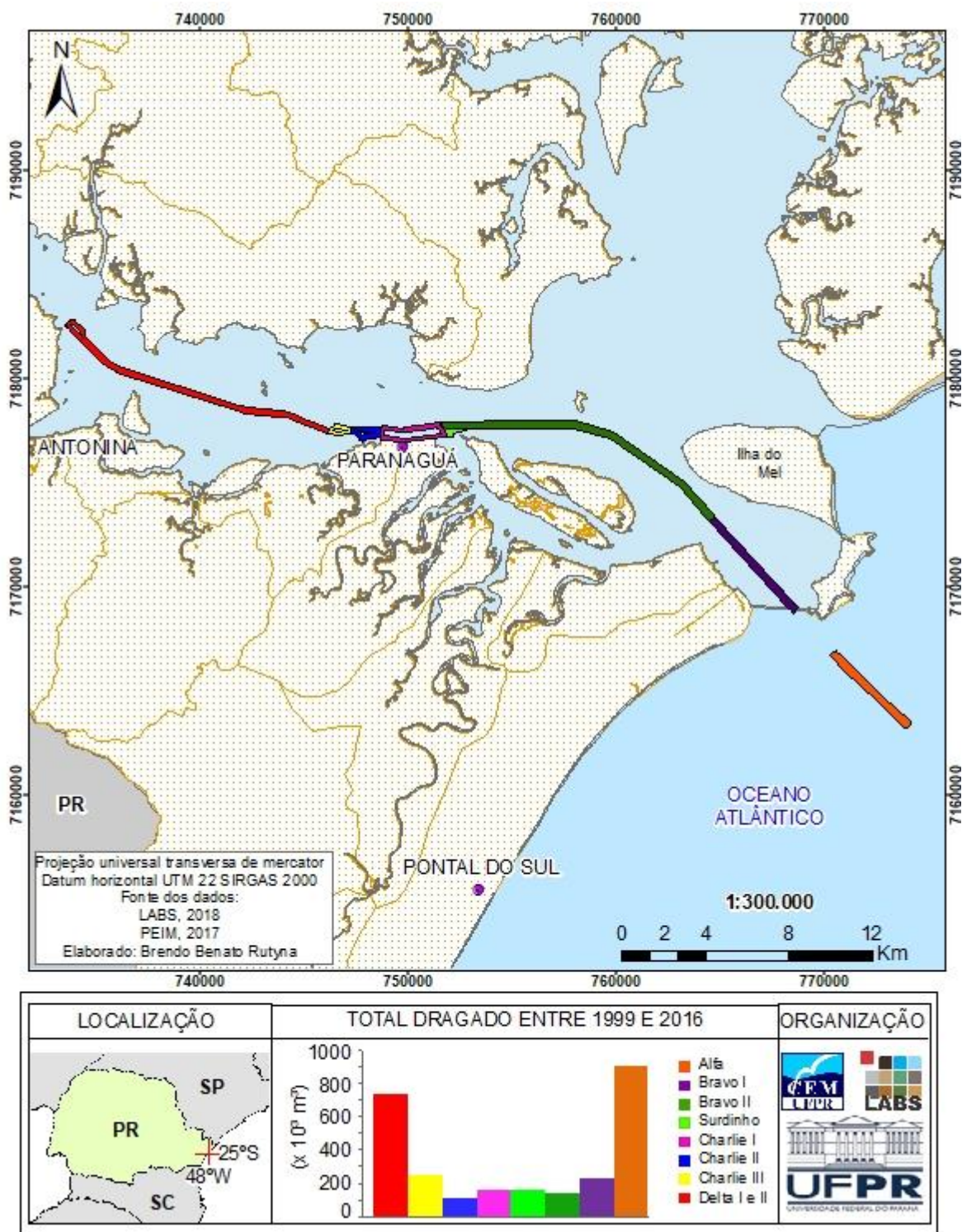


FONTE: o autor (2018)

5.3.2 Entre 1999 e 2016

A média anual de assoreamento nos trechos 1999 e 2016 (Figura 7), onde é possível analisar dois setores críticos à navegação: Alfa e Deltas.

FIGURA 7 MÉDIA ANUAL DE ASSOAREAMENTO ENTRE 1999 E 2016, ONDE SE EVIDENCIA OS SETORES ALFA E DELTAS

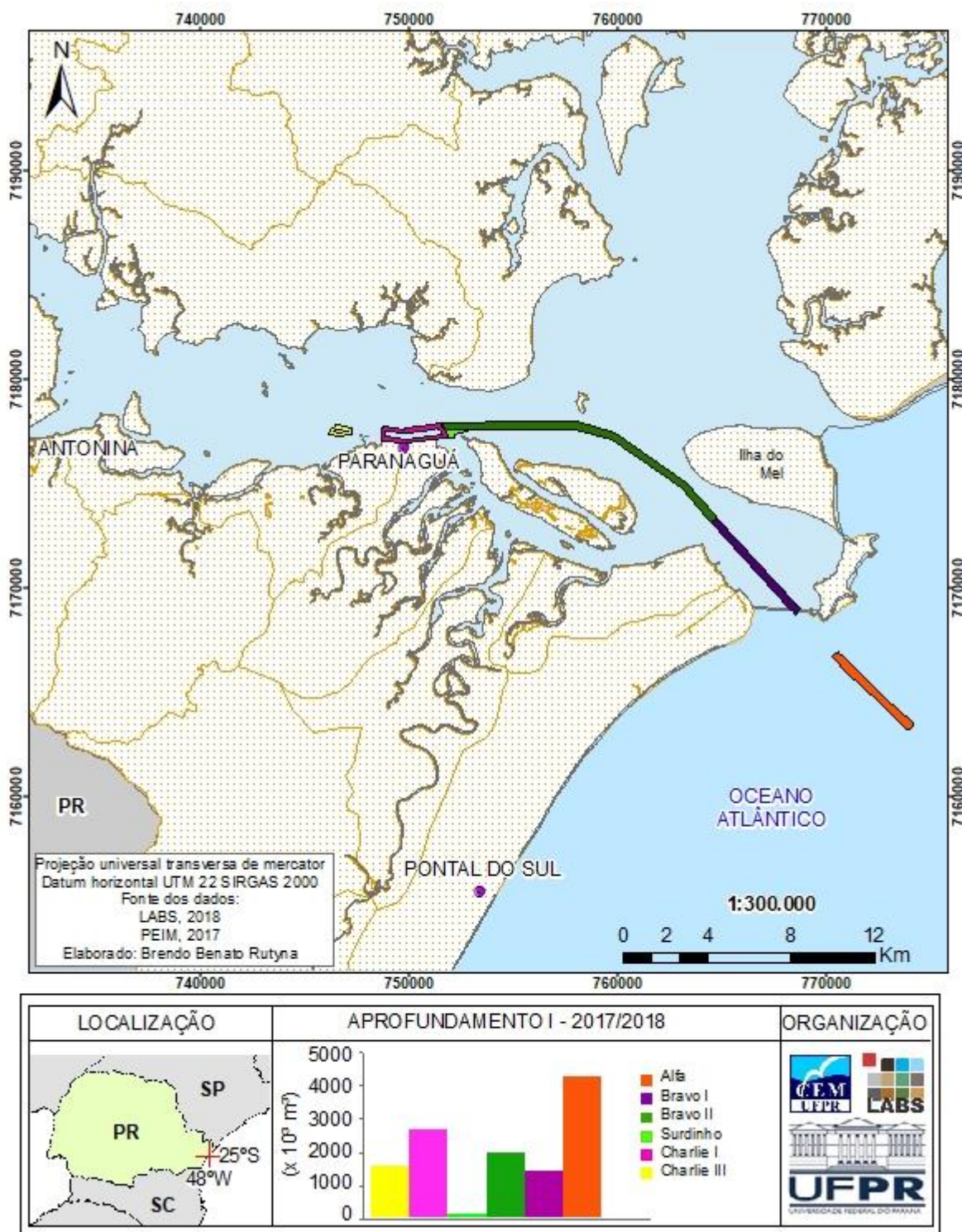


FONTE: o autor (2018)

5.3.3 Aprofundamento I

O total de sedimentos dragados entre agosto de 2017 e julho de 2018 (Figura 8), novamente evidencia o setor Alfa em relação aos outros trechos do canal.

FIGURA 8 TOTAL DE SEDIMENTOS RETIRADOS DURANTE A OBRA DE APROFUNDAMENTO I

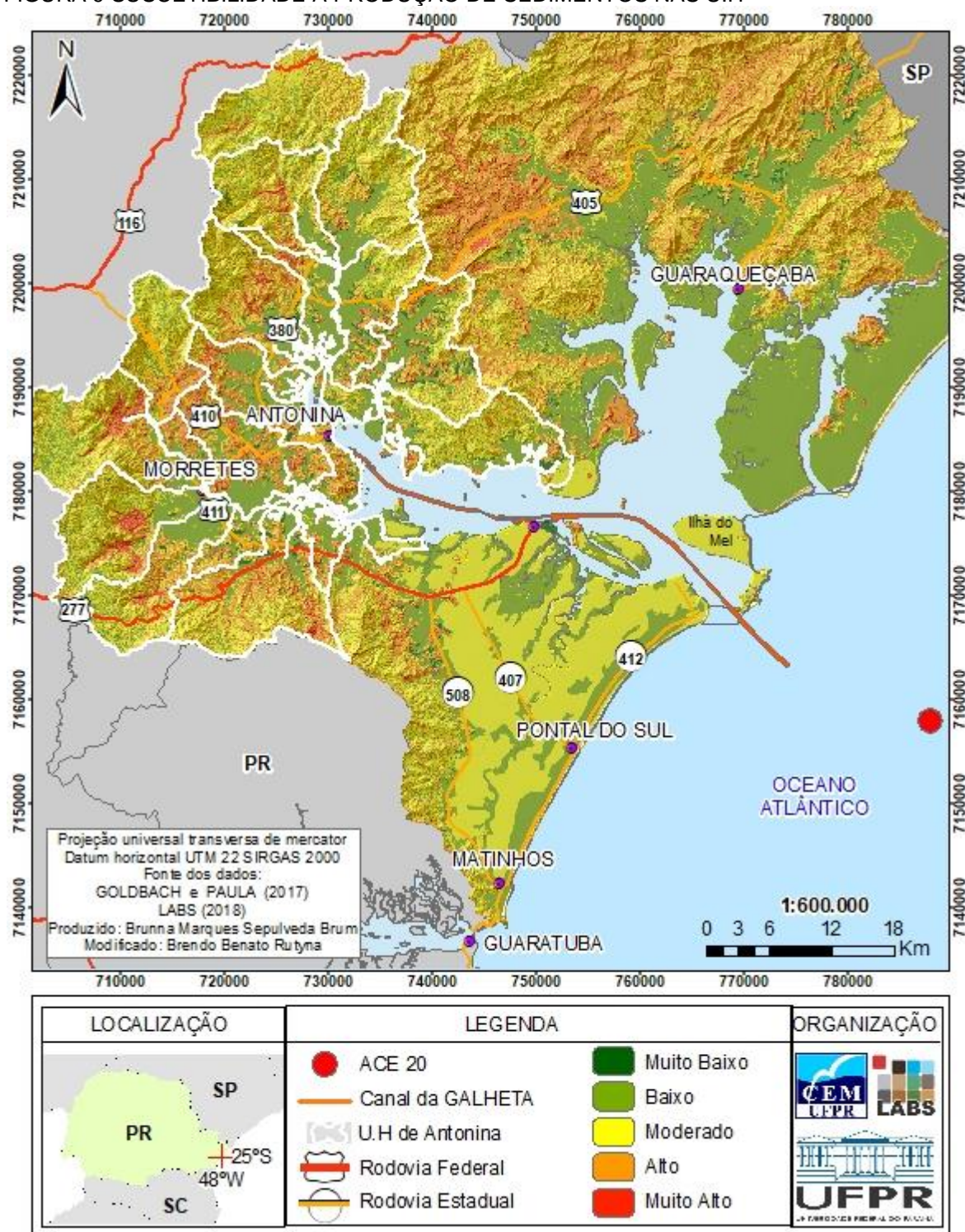


FONTE: o autor (2018)

5.4 ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NAS U.H

A Figura 9 expressa a classificação da suscetibilidade à produção de sedimentos das unidades hidrográficas que drenam para a Baía de Antonina.

FIGURA 9 SUSCETIBILIDADE À PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NAS U.H



FONTE: o autor (2018)

6 DISCUSSÃO

6.1 SETORES CRÍTICOS À NAVEGAÇÃO

Analizando os resultados gerados, ficam evidentes dois setores críticos à navegação portuária, quando levado em consideração a quantidade de sedimentos realocados em comparação com os demais setores. São eles: setor Alfa e Delta.

6.1.1 Setor Alfa

O canal da Galheta (setor Alfa) é a principal via de acesso aos portos, apresentando problemas com assoreamento desde a sua abertura, em 1972. A Autoridade Portuária identificou áreas críticas de assoreamento quase que em toda a extensão do setor. No passado, outras vias de acesso foram utilizadas, como os canais Norte e Sueste, abandonados pela presença de rochas no fundo, o que oferecia perigo ao trânsito de grandes navios.

Segundo Lamour (2000), existem dois trechos do setor onde o assoreamento é mais intenso, necessitando assim de dragagens mais frequentes. São divisões do setor Alfa em duas regiões, denominado externo e autolimpante (canal natural). O setor externo é dragado com frequência, enquanto que o autolimpante não necessita de dragagens, mantendo profundidades naturais de até 38 m.

A desembocadura sul da baía de Paranaguá foi caracterizada por Angulo (1992) como o maior delta de maré vazante do litoral do Paraná. O canal da Galheta foi dragado neste contexto, modificando a circulação dos fluxos de correntes, implicando também na alteração do transporte de sedimentos na área.

Antes da abertura do canal da Galheta, os sedimentos provavelmente se deslocavam para o norte, região suficientemente rasa para que as ondas e as correntes geradas por estas os distribuíssem. Com a dragagem, criou-se uma armadilha para os sedimentos. Os provenientes de sul caem no canal, o que é evidenciado pelo grande volume de sedimentos ($909.518 \text{ m}^3.\text{a}^{-1}$) que obstrui e desvia para NE o seu eixo. Parte destes sedimentos pode ser transportado pelas correntes de maré vazante para locais mais profundos, fora do alcance da ação das ondas ou onde o efeito delas é menor, e assim perdidos total ou parcialmente do sistema costeiro (LAMOUR, 2000).

De acordo com Lamour (*op. cit*), o fluxo sedimentar proveniente de SW (deriva litorânea), divide-se em duas porções principais, uma que continua transportando os sedimentos para NE, e outra que adentra o estuário. No setor externo o fluxo passa sobre o lobo terminal do delta de maré vazante, depositando sedimentos no canal, criando uma frente preferencial de sedimentação, que flexiona o eixo do canal para SW.

Outro aspecto que deve ser considerado é que na região existem duas frentes de ondas principais, S-SE e E-NE (PORTOBRÁS, 1983). Embora a resultante seja para NE, há importante movimentação de sedimentos para SW durante períodos em que atuam as ondas de E-NE. A presença de um banco arenoso nas periferias do canal o faz agir como um redutor da energia das ondas provenientes de SE, devido a suas baixas profundidades. Parte desta energia é transferida aos sedimentos de fundo e convertida em transporte provocando o assoreamento do canal (LAMOUR, 2000).

O mesmo autor sugere que, para diminuir as taxas de sedimentação no canal da Galheta, em ambos os setores, poderia ser dragado, a SW do canal, um novo paralelo ao da Galheta. Este novo canal funcionaria como armadilha para os sedimentos provenientes de SW, auxiliando a manter a profundidade e a navegabilidade do canal da Galheta por mais tempo. Este canal auxiliar deveria ser dragado periodicamente para manter seu poder de captura de sedimentos. As dragagens deste canal não interferiram no canal da Galheta, mantendo o acesso ao porto operacional por mais tempo.

6.1.2 Setor Delta

A ordem de grandeza do total de sedimentos produzidos pelas unidades hidrográficas é de aproximadamente vinte e seis vezes menor do que o total retirado por obras de dragagens nos setores Delta I e II, que estão inseridos na área de drenagem dessas bacias, na baía de Antonina. Este fato é devido às obras de aprofundamento que ocorreram nestes locais, onde foi retirada uma quantidade de sedimentos superior àqueles carregados pelos processos deposicionais. Ademais, como não houve obras no setor Echo, localizado na porção mais interna do estuário, esta ordem de grandeza se torna ainda mais expressiva ao correlacionar a

quantidade de sedimentos dragados com a possível parcela carregada pelas unidades hidrográficas.

Os processos deposicionais, atribuídos a este cenário, são fenômenos interanuais, de dezenas de anos e até seculares, uma vez que a sedimentação dos canais também se dá pela complexa distribuição e redistribuição dos sedimentos relacionados aos sistemas estuarinos.

Cattani (2016) demonstra que a distribuição sedimentar nesta região aponta para um cenário complexo, onde as correntes de fundo desempenham um papel importante no carregamento de sedimentos finos para a cabeceira do estuário nas enchentes e exportados a jusante nos períodos de vazante. Talvez este processo seja mais importante no assoreamento do que a sedimentação direta da suspensão que chega através das bacias de drenagem.

A autora também indica que nem todos os sedimentos que chegam das principais bacias de contribuição sedimentar da região serrana, que drenam na baía de Antonina, são exportados para a região de Paranaguá. A baía de Antonina, apesar da sua importância econômica, ambiental, social e de suas características fisiográficas, o que facilitaria as questões logísticas relacionadas ao levantamento de dados primários, ainda não é um dos estuários mais bem compreendidos no Brasil no que diz respeito à sua hidrodinâmica, aporte e dinâmica de sedimentos. Isso é um fator crítico para as diversas tomadas de decisões realizadas pelos órgãos ambientais, que acabam se embasando em modelagens.

Todavia isso pode ser observado no trabalho de Cattani e Lamour (2016), que encontraram taxas de assoreamento para o canal navegável nesta região de 3.000 m³.mês, equivalente a 5,35 cm.mês⁻¹.km⁻². Considerando o argumento de Gomez (1991) que o transporte por carga de fundo é o responsável pela conexão entre as forçantes hidrodinâmicas e a morfologia dos canais, pode-se supor que a maior parte dos sedimentos que estão assoreando esta porção do canal não são exportados para a baía de Paranaguá. Essa suposição é razoável ao analisar a quantidade de sedimentos retirados (737.289 m³.a⁻¹.) nos setores Delta I e II, que abrangem a área de drenagem da baía de Antonina, em comparação com os demais setores (Charlie I, II e III) da bacia de evolução do porto de Paranaguá e acessos (Bravo I e II).

6.1.2.1 Fatores potencializadores do assoreamento

Ao analisar a Figura 9, relativa à espacialização dos potenciais à produção de sedimentos, fica visível o quanto as alterações do uso e cobertura dos solos influenciam a disponibilização de sedimentos. As áreas que estão localizadas na transição entre planície e início das serras e rampas, onde ocorre a dinâmica de acumulação de material, formam áreas com solos ricos em fertilidade que propiciam atividades como agricultura e pastagem (GOLDBACH, 2018). Estas áreas naturalmente são desprotegidas e suscetíveis ao avanço dos processos erosivos, que muitas vezes são intensificados pelo pisoteio e formação de carreiros de animais até os rios para dessedentação das criações.

Outro fator contribuinte para o aumento significativo nos potenciais Alto e Muito Alto são as estradas rurais não pavimentadas. Essas por sua vez não apresentam sistema de drenagem e muitas vezes drenam para os rios, direcionando os sedimentos em períodos de chuvas ou cheias, devido a sua localização na planície litorânea (PAULA, 2016; GOLDBACH, 2018).

Alguns autores (BIGARELLA *et al.*, 1978; ODRESKI *et al.*, 2003; PAULA e CUNICO, 2005; GONÇALVES *et al.*, 2005; PAULA, 2010) indicam que o principal motivo de intensificação do processo de assoreamento na baía de Antonina está relacionada à construção da Usina Hidrelétrica Governador Pedro Viriato Parigot de Souza, em 1970. Também conhecida como Usina Capivari-Cachoeira, ela pertence à Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL) e localiza-se no município de Antonina, na região rural denominado Bairro Alto, na Bacia Hidrográfica Litorânea.

Para a construção da usina, foram represadas as águas do rio Capivari, localizado no primeiro planalto, a 830 m acima do nível do mar. As possíveis mudanças nos padrões de sedimentação desta área se deram pela transposição da bacia de drenagem do rio Capivari para o Cachoeira, localizado na bacia hidrográfica litorânea. O descarte no rio Cachoeira da água usada na geração de energia através de um Canal de Fuga (BANDEIRA, 2007) fez com que ocorresse um aumento da vazão de 122,3% em relação ao cenário natural (PAULA, 2016). Assim, aproximadamente 25% do volume total de sedimentos produzidos na área de drenagem da baía de Antonina são consequentes da operação desse empreendimento.

De acordo com o Plano de Desenvolvimento Sustentável do Litoral do Paraná (PDS, 2018), em março de 2011 o litoral paranaense passou por um período de precipitações atípicas que trouxeram consequências drásticas às comunidades da região. Entre os dias 11 e 13 daquele mês/ano, chuvas torrenciais em toda a Serra do Mar desencadearam uma série de acidentes geológicos e hidrológicos de proporções elevadas (chegando a registrar mais de 2.500 movimentos gravitacionais de massa) destacando-se: deslizamentos de grandes proporções, corridas de lama, inundações e erosões que modificaram a paisagem da região e causaram acidentes drásticos para os municípios próximos.

Segundo Paula (2016), foram registrados em estações pluviométricas de Morretes e Antonina valores superiores a 200 mm em 24 h. Os principais impactos do evento em questão ocorreram na Bacia do Rio Jacareí, a qual integra a Área Incremental 3 delimitada no âmbito da presente pesquisa. Estima-se que nessa bacia hidrográfica choveu entre 300 e 400 mm em 24 h (CPTEC, 2011), configurando-se no mais expressivo evento pluviométrico já registrado no estado do Paraná. Certamente, um volume significativo de sedimentos foi carregado ao estuário durante e imediatamente após o evento supramencionado. Acredita-se que ainda hoje (sete anos após o evento) e nos próximos anos haverá importante aporte sedimentar à baía de Antonina. Isso porque parte das cicatrizes encontram-se ainda expostas, bem como é possível observar material sedimentar completamente desestruturado, disponível para ser transportado nas margens dos canais hidrográficos.

6.2 DISPERSÃO SEDIMENTAR NA BAÍA DE ANTONINA E VALORES DE ASSOREAMENTO

Cattani (2016) caracterizou o regime hídrico na cabeceira do estuário, calculando o transporte sedimentar total na baía de Antonina de forma a determinar a descarga líquida e a capacidade de aporte sedimentar das bacias de drenagem, as quais influenciam o transporte total ao longo do corpo aquoso.

Os valores observados para o transporte de sedimentos indicam que ocorre um elevado aporte para o interior do estuário oriundo das bacias de drenagem, tanto por carga de fundo (desembocadura do Rio Nhundiaquara), como por suspensão. Nos períodos de enchente, esse transporte indica uma competência dos fluxos de

maré invadirem as desembocaduras fluviais, tanto na condição de quadratura, quanto de sizígia. Por ser uma desembocadura fluvial, a velocidade é a soma da descarga do rio para o estuário com as correntes de maré vazante, com velocidade chegando a $1,56 \text{ m.s}^{-1}$, indicando transporte efetivo de sedimentos, por carga de fundo, com competência para transporte de partículas maiores.

Boyd *et al.* (2017) em estudo com as regiões de planícies de maré nas baías de Delaware e Barnegat, encontrou taxas de deposição para essas região de $0,79 \text{ cm.ano}^{-1}$ (Delaware) e $0,29 \text{ cm.ano}^{-1}$ (Barnegat), com uma descarga das bacias de drenagem de $\approx 1,3 \times 10^6 \text{ ton.ano}^{-1}$ em estuário com amplitude de maré de 1,6 m. Esses mesmos autores concluíram que os fatores oceanográficos (correntes de maré) exercem influência no transporte e deposição desses sedimentos no estuário, sendo o aporte fluvial apenas um coadjuvante por essa distribuição nas regiões mais rasas. Isso pode ser observado nas regiões de planícies de maré lamosas na baía de Antonina, em que as correntes têm papel importante no transporte e deposição dos sedimentos.

De acordo com Cattani (2016), as taxas de assoreamento estipuladas para o setor Delta II na baía de Antonina, entre os anos de 2010 e 2012 foram $71,1 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{mês}$ de sedimentos depositados.

6.3 PROGRAMA CAD: CONTAMINANTES, ASSOREAMENTO E DRAGAGEM NO ESTUÁRIO DE PARANAGUÁ

A Associação de Defesa do Meio Ambiente e do Desenvolvimento de Antonina (ADEMADAN, 1997) é uma ONG de Utilidade Pública pela Assembleia Legislativa de Estado do Paraná que tem por objetivo investigar o desenvolvimento de forma sustentável com o meio socioambiental em áreas de preservação (BOLDRINI, 2007).

Em 2005 a ADEMADAN iniciou um projeto de investigação sobre a origem do assoreamento, dos contaminantes e da hidrodinâmica na Baía de Antonina e Paranaguá com vistas a oferecer áreas alternativas para os despejos das dragagens e planejar ações mitigadoras para o assoreamento e os contaminantes, intitulado programa CAD.

Segundo Boldrini (2007), o programa permitiu reavaliar o processo de licenciamento e monitoramento ambiental para o planejamento das dragagens.

Contudo, é preciso: I) Definir políticas públicas consistentes para mitigar o processo de assoreamento, a fim de que a médio e longo prazo possa diminuir a necessidade de constantes dragagens; II) Entender que as ações na origem do problema são os melhores monitoramentos socioambientais e econômicos para os planejamentos das dragagens; III) Considerar o uso do solo na rede de drenagem que deságua nas regiões estuarinas, onde os portos paranaenses estão localizados; e IV) Integrar no licenciamento ambiental as ações de recuperação de áreas degradadas e monitoramento das bacias hidrográficas.

A operação portuária depende em muito da navegabilidade, por isso o nível de assoreamento do canal e dos berços de atracação tem que ser monitorado. Em Antonina, o nível de assoreamento compromete esse tipo de operação há muito tempo desde que se percebeu a formação de pequenos baixios, mas que logo se expandiram e se transformaram em ilhas. A manutenção dos setores Delta I e II nesta região se torna extremamente onerosa, uma vez que níveis altos de sedimentos ($737.289 \text{ m}^3.\text{a}^{-1}$ ou $1.953.815.850 \text{ t.a}^{-1}$) são retirados por ano para garantir acessibilidade aos navios. Esses valores implicam em setenta e cinco viagens, com uma draga tipo Hopper com alta capacidade de caçamba, até a área de descarte ACE-20 que fica a 33,5 km de distância (67 km de ida e volta). Apenas para estes trechos. Sem as devidas remediações ao intenso processo de assoreamento, a tendência é que a atividade portuária nesta região se torne inviável para o empreendimento e para o estado.

De acordo com Gonçalves *et al.* (2007), dentre todas as medidas mitigadoras que podem ser aplicadas para tentar solucionar o problema de assoreamento na baía de Antonina, a forma mais eficiente seria diminuir a disponibilidade de sedimentos injetados no estuário. Sendo que as bacias hidrográficas de maior impacto e, portanto, que deveriam ser recuperadas prioritariamente, são as do rio Cachoeira e Nhundiaquara, a recuperação das margens com a introdução de cobertura vegetal seria uma das medidas mais eficientes a serem consideradas.

Para Paula (2007), os processos de licenciamento ambiental no Brasil mostram que, para obedecer à legislação e garantir viabilidade dos empreendimentos de infraestrutura, devem considerar a categoria de totalidade nos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e Plano de Controle Ambiental (PCA). Deve haver um trabalho articulado na construção científica do conhecimento entre seus diversos elementos para adquirirem significado na totalidade das relações

socioambientais em que os interesses econômicos estão contextualizados. Por outro lado, é um equívoco colocar o licenciamento ambiental como entrave do desenvolvimento econômico do país, pois ao contrário, ele é um importante instrumento de planejamento para o desenvolvimento de atividades econômicas dependentes dos recursos naturais, tendo em vista a sustentabilidade do seu desenvolvimento.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O litoral paranaense é um dos trechos mais bem preservados da costa brasileira, graças às condições que lhe são peculiares (como o fato de não ter acompanhado o desenvolvimento verificado em outras regiões costeiras) e o esforço de entidades e organizações que zelam pela conservação ambiental dessa região. Atualmente, cerca de 83% do território é protegido por unidades de conservação ambiental.

Mesmo assim, vários estudos indicam que ocorrem problemas socioambientais de diversas ordens, com avanços da ocupação sobre ecossistemas e áreas de maior fragilidade do ponto de vista físico e natural.

O Zoneamento Ecológico Econômico do Paraná (ZEE) apresenta diretrizes gerais para duas zonas que envolvem o Litoral do Paraná: a Zona Planície Costeira e a Zona Serra do Mar. De acordo com o Zoneamento Ecológico Econômico, a zona se “caracteriza por apresentar fragilidade geoambiental elevada em função de se constituir por relevo plano, com materiais arenosos e orgânicos inconsolidados e instáveis, lençol freático raso e possibilidade de colapsos em fundações e edificações”. A zona é também muito suscetível às inundações e alagamentos. Predominam, com poucas exceções, solos inaptos para o uso intensivo com atividade agrícola, pecuária ou florestal.

Junto com a Serra do Mar, o complexo Estuarino Lagunar Paranaguá-Cananéia-Iguape foi tombado pela Unesco em 1995, como Patrimônio da Humanidade, pois abriga os últimos remanescentes da Floresta Tropical Pluvial Atlântica do Brasil.

O Porto de Paranaguá é o maior exportador de produtos agrícolas do Brasil, além de movimentar fertilizantes, contêineres, líquidos, automóveis, madeira, papel

e açúcar, entre outros. A atividade portuária se estende, embora em menor escala, à cidade de Antonina.

Os solos identificados no compartimento Serra do Mar por Paula *et al.*, (2010) são pouco desenvolvidos (Cambissolos Háplicos e os Neossolos Litólicos) em declividades superiores a 30% e alta pluviosidade, indicando suscetibilidade natural à ocorrência de movimentos de massa e desenvolvimento de processos erosivos. Enquanto que na Planície Litorânea, verifica-se o predomínio de sedimentos aluvionares não consolidados associados a solos hidromórficos (Gleissolos, Cambissolos Flúvicos e Neossolos Flúvicos), com alta pluviosidade indicando processos erosivos decorrentes de escoamento superficial.

Existem vários sinais recentes de assoreamento na Baía de Antonina, com um maior afluxo de sedimentos fluviais e sua deposição na cabeceira do sistema. Nos últimos 30 anos as barras de maré têm aumentado, provavelmente devido à construção da usina hidrelétrica no Rio Cachoeira (Lessa *et al*, 1998).

Analizando os processos de licenciamento ambiental de jurisdição estadual e federal, protocolados respectivamente pelo IAP e pelo IBAMA, a respeito da aquisição de serviços de dragagens por empresas vencedoras dos editais, notou-se que apenas entre 2011 e 2017 foi gasto um valor total de R\$ 703.540.774,18 entre obras de manutenção e aprofundamento nos canais de acesso aos portos de Paranaguá e Antonina, bacias de evolução e berços de atracação. Deste montante, R\$ 390.000.000,00 foram investidos pelo Governo Federal para a execução da dragagem de aprofundamento I que, em intervalo de execução de aproximadamente um ano, retirou uma quantidade de sedimentos (12.914.780 m³ ou 34.224.167.053 t) quase cinco vezes maior ($\approx 4,8$) que o total dragado em todos os setores entre 1999 e 2016.

O grande gargalo da atividade portuária parece um somatório do que se refere à taxa de sedimentação elevada dentro do estuário somada a área de extremo risco de navegação na entrada do canal da Galheta, uma vez que os fatores oceanográficos impedem que a Marinha autorize um calado de navegação condizente com a cota atingida pelo projeto de dragagem de aprofundamento I, que seria de -12,5 m (calado oficial autorizado pela Marinha do Brasil e Praticagem) para -13,5 m.

O problema é que muitas vezes as soluções permanecem reprimidas porque determinados interesses econômicos e políticos entram em contradição com os

interesses sociais e ambientais. Razão pelo qual o debate, a divulgação das informações e do conhecimento científico são ferramentas imprescindíveis para impulsionar os saltos de qualidade que a humanidade precisa, a fim de garantir a qualidade de vida para as atuais e futuras gerações, cuja base ecológica é e sempre será a matéria prima de todo e qualquer desenvolvimento econômico.

REFERÊNCIAS

- ANGULO, R. J. **Geologia da planície costeira do Estado do Paraná**. 334 p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992.
- ANGULO, R. J., SOARES, C. R., MARONE, E., SOUZA, M. C. de, ODRESKI, L. L. R., & NOERNBERG, M. A. **Paraná. Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**, p. 347–400, 2006.
- ANGULO, R. J.; SOUZA, M. C.; LAMOUR, M. R. **Coastal erosion problems induced by dredging activities in the navigation channel of Paranaguá and São Francisco do Sul harbor, southern Brazil**. Journal of Coastal Research, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), 1801 - 1803. ISSN 0749-0208 Itajaí, SC, Brazil, 2006.
- BIGARELLA, J. J. et al. **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná: um problema de segurança ambiental e nacional**. Curitiba: Governo do Paraná/SEPL/ADEA. 249 p. 1978.
- BOKUNIEWICZ, H. Sedimentary systems of Coastal-plain Estuaries. In PERILLO, G.M.E. (Ed.). **Geomorphology and sedimentology of estuaries**. The Netherlands: Elsevier Science B.V. p 49-67. 1995.
- BOOTHROYD, J.C. **Mesotidal inlets and estuaries**. In: DAVIES JR, R.A. ed. Coastal Sedimentary Environments. New York. Springer-Verlag. p. 287-360. 1978.
- BOYD, R., DALRYMPLE, R.W., ZAITLIN, B.A. Estuarine and incised-valley facies models. IN: POSAMENTIER, H. W. & WALKER, R. G. **Facies models revisited**. 532p. 2006.
- BOLDRINI, E. B.; SOARES, C. R.; PAULA, E. V. **Dragagens portuárias no Brasil: licenciamento e monitoramento ambiental**. Governo do Paraná/SEMA/UNIBEM/ADEMADAN, p. 312. 2007.

BOLDRINI, E. B.; SOARES, C. R.; PAULA, E. V. **Dragagens portuárias no Brasil: engenharia, tecnologia e meio ambiente.** Governo do Paraná/UNIBEM/ADEMADAN, p. 225. 2008.

BIRD, E. **Coastal geomorphology: an introduction.** John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 2008.

CATTANI, P. E. **Caracterização geomorfológica e sedimentológica do eixo E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá.** 45 p. Dissertação de Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos da Universidade Federal do Paraná, UFPR. Pontal do Paraná, PR, Brasil, 2012.

CATTANI, P. E. **O contexto hidrodinâmico na formação da paisagem de fundo da Baía de Antonina – PR.** 109 p. Tese de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal do Paraná, UFPR, Pontal do Paraná, PR, Brasil, 2016.

DE BACKER, A.; VAN COLEN, C.; VINCX, M.; DEGRAER, S. **The role of biophysical interactions within the IJzermondig tidal flat sediment dynamics.** Continental Shelf Research 30: p. 1166-1179, 2010.

DYER, K.R. Sediment transport processes in estuaries. In: PERILLO, G.M.E. (ed.). **Geomorphology and sedimentology of estuaries.** Developments in Sedimentology, n. 53. Elsevier, p. 423-449, 1995.

DYER, K. R. **The typology of intertidal mudflats.** In: **Sedimentary processes in the intertidal zone** (Eds K.S. Black, D.M. Paterson and A. Cramp), Geological Society Special Publication 139, London. pp. 11-24, 1998.

DYER, K. R.; CHRISTIE, M. C.; WRIGHT, E. W. **The classification of intertidal mudflats.** Continental Shelf Research, 20: p. 1039-1060, 2000.

GOES FILHO, H.A. **Dragagem e gestão dos Sedimentos**. 162 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.

GOLDBACH, J. **Análise da produção de sedimentos na área de drenagem do Complexo Estuarino de Paranaguá/PR**. 71 p. TCC (Graduação em Geografia) Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2018.

GOMES de OLIVEIRA, U. B. **A dragagem e os impactos ao meio ambiente**. 55 p. TCC (Graduação em Tecnologia em Construção Naval) Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2010.

GONÇALVES PEREIRA, T. **Abordagem multimetodológica sobre o despejo de sedimentos de dragagem em área de descarte oceânico – plataforma adjacente à Baía de Guanabara**. 283 p. Tese de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense, UFF, Rio de Janeiro, 2013.

HARRIS, P.T. **Large-scale bedforms as indicator of mutually evasive sand transport and the sequential infilling of wide-mouthed estuaries**. *Sediment. Geol.*, Amsterdam, v. 57, p. 273-298. 1988.

HAYES, M.O. **Morphology of sand accumulations in estuaries**. In: CRONIN, L.E. *Estuarine Research, Geology and Engineering*. New York : Acad. Press, v. 2, p. 3-22. 1975.

LAMOUR, M. R. **Dinâmica sedimentar do canal da Galheta, via de acesso ao Porto de Paranaguá – PR**. 115 p. Dissertação de Mestrado em Geologia, Curso de Pós-Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, UFPR, Departamento 102. Curitiba, PR, Brasil, 2000.

LAMOUR, M.R.; SOARES, C. R.; CARRILHO, J. C. **Mapas de parâmetros texturais de sedimentos de fundo do Complexo Estuarino De Paranaguá – PR**. *Boletim Paranaense de Geociências*, Pontal do Sul, Editora UFPR, v. 55, p. 77-82, 2004.

LAMOUR, M.R.; SOARES, C.R. Variação das características granulométricas dos sedimentos de fundo do canal navegável aos Portos da Baía de Paranaguá. In: BOLDRINI, E.B; SOARES, C.R; PAULA, E.V. (Org). **Dragagens portuárias no Brasil: licenciamento e monitoramento ambiental**. Antonina: ADEMADAN/UNIBEM/SEMA/Governo do Estado do Paraná. p 244-252. 2007.

LAMOUR, M. R. **Morfodinâmica sedimentar da desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá – PR**. 2007. 161 p. Tese (Doutorado em Geologia ambiental) Área de Concentração em Geologia Ambiental, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, UFPR. Curitiba, PR, Brasil, 2007.

LE HIR, P.; ROBERTS, W.; CAZAILLET, O.; CHRISTIE, M.; BASSOULLET, P.; BACHER, C. **Characterization of intertidal flat hydrodynamics**. Continental Shelf Research, p. 1433 – 1459, 2000.

MANTOVANELLI, A. **Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem**. Curitiba, 152 p. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, UFPR. Curitiba, PR, Brasil 1999.

MAZDA, Y.; WOLANSKI, E.; KING, B.; SASE, A.; OHTSUKA, D.; MAGI, M. **Drag force due to vegetation in mangrove swamps, Mangrove and Salt Marshes** p. 193-199, 1997.

MOBERG, F.; RÖNNBÄCK, P. **Ecosystem services of the tropical seascape: interactions, substitutions and restoration**. Ocean & Coastal Management. 46: p. 27-46, 2003.

NOERNBERG, M. A. **Processos morfodinâmicos no Complexo Estuarino de Paranaguá - Paraná - Brasil: um estudo a partir de dados in situ e Landsat - TM**. Tese. Geologia Ambiental, UFPR, Curitiba, 180 p, 2001.

PAULA, E. V.; CUNICO, C.; BOLDRINI, E. B. **Controle do assoreamento e dos contaminantes por meio da gestão de bacias hidrográficas para o**

planejamento das dragagens portuárias da Baía de Antonina / Paraná / Brasil, Curitiba, n. 12, Editora UFPR, p. 195-210, 2006.

PAULA, E. V. **Análise da produção de sedimentos na área de drenagem da Baía de Antonina / PR**, uma abordagem geopedológica. 168 p. Tese (Doutorado em Geografia) Departamento de Geografia, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, UFPR. Curitiba, PR, Brasil, 2010.

PAULA, E. V. **Análise da produção de sedimentos na área de drenagem da Baía de Antonina, Paraná**: contribuições ao planejamento do território. Cap. 2. p. 11-37 In: REIS, Rodrigo Arantes *et al* (Comp.). **Litoral do Paraná: Território e Perspectivas**: Volume I: Sociedade, Ambiente e Gestão. 22. ed. Curitiba: Brazil Publishing, 2016.

PERILLO, G.M.E. **Definitions and Geomorphologic Classifications of Estuaries**. In PERILLO, G.M.E. (Ed.). **Geomorphology and sedimentology of estuaries**. The Netherlands: Elsevier Science B.V. p 17-47. 1995.

PERILLO, G.M.E & SYVITSKI, J.P.M. **Mechanisms of sediment retention in estuaries**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. v.87, p. 175-176. 2010.

PRANDLE, D. **Estuaries: dynamics, mixing, sedimentation and morphology**. University of Wales. Cambridge. New York. 248 p., 2009.

SOARES, C.R. **Os portos de Paranaguá (PR) e Itajaí (SC)**: análise comparativa das suas relações com as cidades de inserção, da estrutura operacional atual e das condições socioambientais das regiões de entorno. 204 p. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, UFPR. Curitiba, PR, Brasil, 2009.

TRENHAILE, A.S. **Coastal dynamics and landforms**. New York; Oxford University Press. 366 p. 1997.

WHITEHOUSE, R. J. S.; BASSOULLET, P.; DYER, K. R.; MITCHENER, H. J.; ROBERTS, W. **The influence of bedforms on flow and sediment transport over intertidal mudflats.** Continental Shelf Research 20: p.1099-1124, 2000.

WOLANSKI, E.; RIDD, P. **Tidal mixing and trapping in mangrove swamps estuarine.** Coastal and shelf science, 23: P. 759-771, 1986.